

СИГНАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

01. АКУСТИКА

ОТДЕЛЬНЫЙ ВЫПУСК

Главный редактор
акад. О.В. Руденко, Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова

Рубрикация:
Д.Л. Расторгуев, Акустический институт им. Н.Н. Андреева

Издается с 2013 г.

№ 01
Москва 2026

Выходит 6 раз в год

Конгрессы, конференции, семинары, симпозиумы, советы, совещания

26.01-01.1 Предисловие [к дополнительному выпуску "Акустического журнала" № 5S 2025 года]. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 2. Рус.

Всероссийская научная политематическая конференция «XXXVII сессия Российского акустического общества» с успехом состоялась в Москве в октябре 2025 г. На конференции были рассмотрены современные проблемы развития акустики, в частности, в области физической акустики, распространения и дифракции волн, шумов и вибраций, нелинейной акустики, акустических метаматериалов, акустоэлектроники и электроакустики, оптоакустики, ультразвуковых технологий, акустики океана, геоакустики, атмосферной акустики, аэроакустики, архитектурной и строительной акустики, биоакустики и медицинских приложений акустических методов, музыкальной акустики, акустики речи. В научную программу конференции были включены более 200 докладов и приняли участие более 180 ученых, которые представили свои доклады во всех областях акустики. В конференции приняли участие ученые и специалисты более 50 научных учреждений, предприятий и

университетов из более чем 15 городов России, соавторами докладов были ученые из Израиля, КНР, США. Представленные в докладах результаты относятся как к фундаментальным, так и к прикладным исследованиям и техническим разработкам, которые связаны с развитием акустических технологий. Большинство докладов представлено на конференции ведущими российскими специалистами, при этом значительная часть результатов получена с участием молодых ученых, в частности около 70 докладов представлено на конференции молодыми специалистами и аспирантами. Активное участие научной молодежи в конференции указывает на перспективы дальнейшего развития представленных исследований и разработок. В настоящий сборник трудов конференции включены 200 докладов. Разнообразие тематики и высокий научный уровень представленных материалов свидетельствуют о том, что работы отечественных специалистов в области акустики развиваются весьма успешно и по многим из направлений они сохраняют передовые позиции. Особо следует отметить развитие медицинской акустики при ультразвуковом исследовании биологических тканей человека.

Библиография

26.01-01.2К Шестьдесят лет спустя. 1965—2025. *Шамаев В.Г., Зайцев А.А.* М.: Астр-космосинформ. 2026, 352 с. Рус. ISBN 978-5-9002-4256-9

Это книга о нас, поступивших на Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова в 1965 году. Она приурочена к 60-летнему юбилею поступления и предвещает 55-летний юбилей окончания нами факультета в 1971-м. В книге есть то, что за-

помнили и о чем захотели рассказать авторы и давшие материал для нее наши друзья-одногруппники. Приводятся также фрагменты статей из разных источников и стенной газеты «Советский физик», которая хранит летопись интересных событий в жизни факультета за многие десятки лет.

См. также **26.01-01.1**

Персоналии

26.01-01.3 К выступлению Е.К. Федорова на третьей Пагуошской конференции. Австрия, 1958 г. *Минлигарев В.Т. Гелиогеофизические исследования*. 2025, № 46, с. 13-16. Рус.

рассмотрен доклад член-корреспондента АН СССР Е.К. Федоров «О международном сотрудничестве в геофизике» на конференции в Вене на Третьей Пагуошской конференции, затро-

нувший серьезные глобальные темы на уровне всего человечества: активные воздействие на геофизические процессы, проблемы навигации в воздухе и подводой, изучение солнечной активности и геофизических процессов с привлечением спутниковых данных и разворачивания наземной сети наблюдений, антропогенное воздействие на климат, опасность возрастающих испытаний ядерного оружия и многое другое. В статье рассмот-

рены основные положения доклада, их актуальность и связь с современностью на протяжении уже почти 70 лет.

26.01-01.4 Этапы большого пути. Продолжение. *Минлигарев В.Т. Гелиогеофизические исследования.* 2025, № 46, с. 17-31. Рус.

26.01-01.5 Евгений Константинович Федоров: первые зимовки. *Калишин А.С., Емелина М.А., Благовещенская Н.Ф. Гелиогеофизические исследования.* 2025, № 46, с. 32-43. Рус.

26.01-01.6 Жизнь полна неожиданностей (воспоминания академика М.Ч. Залиханова об академике Е.К. Федорове). *Залиханов М.Ч. Гелиогеофизические исследования.* 2025, № 46, с. 44-53. Рус.

26.01-01.7 Воспоминания о Евгении Константиновиче Федорове. Записки из дневников. *Воробьев В.А., Минлигарев В.Т. Гелиогеофизические исследования.* 2025, № 46, с. 54-70. Рус.

26.01-01.8 Генерал Е.К. Федоров. Гидрометеорологическая служба в годы Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. *Удриш В.В., Окатьев А.А. Гелиогеофизические исследования.* 2025, № 46, с. 71-75. Рус.

26.01-01.9 Отечественный опыт мобилизации представителей редких специальностей на примере гидрометеорологической службы. *Прямыцын В.Н., Жильчук И.А., Козлов И.А. Гелиогеофизические исследования.* 2025, № 46, с. 76-81. Рус.

26.01-01.10 О Великой Отечественной войне. Отрывки из дневников и воспоминаний четырнадцатилетнего мальчишки. *Воробьев В.А. Гелиогеофизические исследования.* 2025, № 46, с. 82-87. Рус.

26.01-01.11 Академик Е.К. Федоров — основатель комплекса уникальных установок для моделирования облачных сред и активных воздействий на них. *Андреев Ю.В., Иванов В.Н., Панов В.Н., Пузов Ю.А., Савченко А.В., Сахибгареев Д.Г. Гелиогеофизические исследования.* 2025, № 46, с. 88-100. Рус.

26.01-01.12 Анатолий Тимофеевич Фоменко (к 80-летию со дня рождения). *Белокуров В.В., Болсинов А.В., Иванов А.О., Козлов В.В., Матвеев С.В., Мищенко А.С., Орлов Д.О., Попеленский Ф.Ю., Садовничий В.А., Тайманов И.А., Трещев Д.В., Шафаревич А.И., Ширяев А.Н. Успехи математических наук.* 2026, 81, № 1, с. 211-222. Рус.

DOI: <https://doi.org/10.4213/gm10299>.

26.01-01.13 Акустики поколения победителей. *Кирпичников В.Ю. Труды Крыловского государственного научного центра.* 2025, № 413, с. 179-184. Рус.

Вспомним поименно сотрудников ЦНИИ-45 (ныне — Крыловский государственный научный центр), которые не только развивали важнейшее направление корабельной акустики, но и защищали Отечество от фашистов в годы Великой Отечественной войны.

26.01-01.14 Акустики поколения победителей. Часть 2. *Кирпичников В.Ю. Труды Крыловского государственного научного центра.* 2025, № 414, с. 195-200. Рус.

В рамках популяризации темы 80-летия Победы в Великой Отечественной войне в № 413 Трудов мы вспомнили наших коллег, которые не только развивали важнейшее направление корабельной акустики, но и защищали Отечество от фашистов. Кроме ученых-фронтовиков, огромный вклад в судовую акустику внесли исследователи и организаторы научной деятельности, которые во время войны жили в блокадном городе или в эвакуации, а затем трудились в Крыловском государственном научном центре.

26.01-01.15 Хромов Август Петрович. Хромова Галина Владимировна. К 90-летию со дня рождения. *Дудов С.И., Корнев В.В., Рыжлов В.С., Сидоров С.П., Халова В.А. Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2025, 25, № 4, с. 600-606. Рус.

В 2025 году отметили свой юбилей — 90-летие — два ветерана Саратовского университета, два профессора: Август Петрович Хромов (17 июня) и Галина Владимировна Хромова (16 сентября). Оба посвятили университету более 70 лет своей жизни, оба прошли путь от студента до профессора. Статья посвящена основным вехам их научной жизни.

26.01-01.16 Идеальное научное соавторство знаменитого «Курса теоретической физики» Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица. *Тютюнник В.М., Самзардзе Г.Т. История науки и техники.* 2025, № 11, с. 13-19. Рус.

Обобщены многочисленные сведения о научном соавторстве академиком Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица в написании и издании знаменитого «Курса теоретической физики», претерпевшего за 90 лет до наших дней множество переизданий и переведённого на различные языки мира. Показано, что Е.М. Лифшиц был полноправным соавтором этого курса. Описаны все выдвигания Л.Д. Ландау на Нобелевскую премию по физике. Ключевые слова: «Курс теоретической физики», Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, научное соавторство.

26.01-01.17 Идеи Вернадского—Шардена—Леруа и Циолковского о дальнейшей эволюции человечества как базис глобального проекта. *Богомолов А.И., Невезжин В.П. Нелинейный мир.* 2024, 22, № 4, с. 46-55. Рус.

Постановка проблемы. Ускорение эволюционных процессов человечества и приближение их во времени к точке технологической сингулярности делает актуальным научный системный подход к прогнозированию будущего человечества и формированию контура или методологических основ разработки «дорожной карты» для достижения желаемого и безопасного будущего. Цель. Рассмотреть основные признаки и результаты технологической сингулярности и дать краткое описание взглядов и идей В.И. Вернадского, Т. де Шардена и Э. Леруа о ноосфере и К.Э. Циолковского на цели и конечный этап эволюции. Результаты. Сопоставлены современные научные представления об эволюции Вселенной и обоснована их близость к идеям Вернадского—Шардена—Леруа и Циолковского. Отмечено, что для решения задач прогнозирования эволюции человечества и управления ею с целью уменьшения рисков реализации негативных сценариев в будущем необходимы совместные усилия всего международного сообщества, которые могут быть оформлены в виде глобального долгосрочного проекта. Практическая значимость. Разрабатываемые модели эволюционного развития на основе идей Вернадского—Шардена—Леруа и Циолковского помогут выявить причинно-следственные связи на ранней стадии возникновения негативных процессов и выработать на основе международного консенсуса меры по их преодолению. Идеи В.И. Вернадского, Т. де Шардена, Э. Леруа и К.Э. Циолковского об эволюции человечества могут лечь в основу международного проекта прогнозирования и управления различными сценариями будущего.

26.01-01.18 Памяти Леонида Рафаиловича Гаврилова (25.05.1938—25.09.2025). *Акустический журнал.* 2025, 71, № 5, с. 751-753. Рус.

25 сентября 2025 г. ушел из жизни Леонид Рафаилович Гаврилов, главный научный сотрудник Акустического института им. академика Н.Н. Андреева, доктор технических наук, один из основоположников важных научных направлений в области медицинской акустики.

26.01-01.19 Космическая физика и физика плазмы (к 100-летию со дня рождения С.И. Сыроватского) (Научная сессия Отделения физических наук Российской академии наук, 5 марта 2025 г.) *УФН.* 2025, 195, № 8, с. 793. Рус.

5 марта 2025 г. в конференц-зале Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (Москва, Ленинский просп., 53) состоялась Научная сессия Отделения физических наук Российской академии наук (ОФН РАН) «Космическая физика и физика плазмы», посвящённая 100-летию со дня рождения Сергея Ивановича Сыроватского.

26.01-01.20 Институту теоретической физики имени Л.Д. Ландау — 60 лет. *Бурмистров И.С., Колоколов И.В., Лебедев В.В. УФН.* 2025, 195, № 11, с. 1135-1136.

Рис.

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2025.09.039888>.

26.01-01.21 Курчатовский институт для науки Великой Победы. Ковальчук М.В., Федосеева И.В., Яцишина Е.В. УФН. 2025. 195, № 12, с. 1253-1267. Рус.

Годы Великой Отечественной войны в советской науке были временем поиска и быстрого внедрения самых смелых научно-технических решений для нашей скорейшей Победы. Одним из таких примеров стали работы по размагничиванию кораблей под руководством А.П. Александра, завершившиеся внедрением системы защиты кораблей от магнитных мин, благодаря которой были спасены сотни судов, множество человеческих жизней. Несмотря на большое количество важнейших тактических задач, в решении которых остро нуждался фронт, отечественные учёные и руководство СССР чётко определили долгосрочный стратегический приоритет, которым стал советский Атомный проект. Под научным руководством И.В. Курчатова была решена эта задача — за шесть лет создан ядерный щит нашей страны.

26.01-01.22 Акустика и оборона Отечества. Руденко О.В. УФН. 2025. 195, № 12, с. 1268-1281. Рус.

Дан краткий обзор основных достижений в области прикладной акустики, служивших нуждам обороны в период Великой Отечественной войны, и их последующее развитие. Обзор условно разделён на три части: 1) подводный звук, 2) воздушная акустика и 3) приложения к медицине. В каждой части даны исторические сведения о направлениях важнейших разработок военных лет, а также об их развитии после Победы. Указаны физические явления, лежащие в основе технических решений, подчеркнута акустическая специфика. Ключевые слова: гидролокатор, подводный звук, шумопеленгаторы, судовая и авиационная акустика, параметрический излучатель, подводные лодки, минное и торпедное оружие, пеленгация, самолёты, медицинский ультразвук.

26.01-01.23 Труды академика В.А. Котельникова (период 1932—1946 гг.) — основа научных направлений шифрования, криптографии и потенциальной помехоустойчивости. Никитов С.А., Назаров Л.Е. УФН. 2025. 195, № 12, с. 1282-1288. Рус.

Рассмотрены научные и прикладные исследования академика В.А. Котельникова в предвоенный и военный период (1932—1946 гг.) по разработке и созданию систем шифрованной телефонной связи, по созданию криптографически стойкой аппаратуры на основе исследований по дискретизации речевых сиг-

налов, по созданию теории потенциальной помехоустойчивости при передаче информации по каналам с шумами. Ключевые слова: шифрование, криптография, помехоустойчивость.

26.01-01.24 Роль Академии наук в Атомном проекте. Чернышев А.К. УФН. 2025. 195, № 12, с. 1289-1311. Рус.

Обзор представляет собой расширенную версию доклада на сессии Отделения физических наук РАН, посвящённой 80-летию Победы в Великой Отечественной войне и 80-летию Атомной отрасли. Автор надеется, что статья будет полезна широкому кругу читателей, особенно молодому поколению: как в сложнейших политических и экономических условиях полной изоляции от внешнего мира и без какой-либо помощи наша страна смогла в удивительно короткие сроки, потеряв 27 млн своих граждан в Великой Отечественной войне, понеся огромные потери, решить задачи модернизации и выйти в лидеры мирового развития. В 1957 году наша страна запустила спутник, а в 1961 г. — в космос полетел Ю.А. Гагарин... Достижения нашего Атомного проекта тех лет являются наглядным примером того, какие научно-технические высоты могут быть достигнуты в России при сочетании трёх главных условий: судьбоносной сверхзадачи, творческой работы специалистов различных профессий, объединённой в конечном уникальном продукте, и, наконец, мощной государственной поддержки. Это были крупнейшие достижения в области высоких технологий — технологий, основанных на совершенно новых научных знаниях. Руководители страны и руководители Атомного проекта сумели организовать работу, создав мультидисциплинарные группы специалистов, тесно увязав решение научных, инженерно-конструкторских, экспериментальных и технологических работ в единую систему, нацеленную на создание атомной бомбы за 2—3 года. Быстрое внедрение достижений фундаментальной науки за счёт правильного выбора приоритетов и концентрации на них ресурсов, подбор и воспитание талантливых кадров, высочайшая ответственность и энтузиазм всех ядерно-оружейных специалистов позволяли и позволяют в течение многих десятков лет, при существенно меньших финансово-экономических ресурсах нашей страны по сравнению с США, эффективно поддерживать стратегическое равновесие в мире и тем самым обеспечивать мир. Ключевые слова: Атомный проект СССР, роль Академии наук, разработка первых ядерных и термоядерных зарядов.

26.01-01.25 108 лет освещаем успехи физики. К читателям журнала “Успехи физических наук”. УФН. 2026. 196, № 1, с. 1. Рус.

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2026.01.040087>.

Классические проблемы линейной акустики и теории волн

Математическая теория распространения волн

26.01-01.26 Новые точные решения уравнений Навье—Стокса для описания неустановившихся градиентных сдвиговых течений размерности «два с половиной». Просвиряков Е.Ю., Горюлева Л.С., Ледянкина О.А. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2025, № 4, с. 9. Рус.

Построено несколько новых точных решений уравнений Навье—Стокса для описания неустановившихся и нестационарных неоднородных сдвиговых градиентных течений. Рассматриваются потоки вязкой несжимаемой жидкости размерности «два с половиной». Такие течения характеризуются двумерным полем скоростей с зависимостью от трех пространственных координат и времени. Квадратично нелинейная система уравнений в частных производных, состоящая из уравнений переноса импульса и уравнения несжимаемости, для описания сдвиговых течений размерности «два с половиной» является переопределённой. Для этой системы в полиномиальных классах точных решений построены нетривиальные точные решения переопределённой системы уравнений гидродинамики неоднородных сдвиговых потоков. Описание неустановивших-

ся течений основано на модификации метода разделения переменных Фурье. Основное внимание уделено классу Линя — Сидорова—Аристова с линейной зависимостью поля скоростей и поля давлений от двух пространственных переменных. Кроме того, показано как можно использовать класс точных решений с нелинейной зависимостью от двух пространственных координат для описания неоднородных сдвиговых течений вертикально завихренной жидкости без предварительной закрутки. Ключевые слова: приведен метод тиражирования (размножения) точных решений для уравнений гидродинамики. Точное решение, класс Линя — Сидорова—Аристова, уравнение Навье—Стокса, переопределённая система, неустановившиеся течения, сдвиговое течение, градиентное течение.

26.01-01.27 Пассивный метод демпфирования акустических возмущений на основе применения пористых материалов. Смирнов П.Г., Брыков Н.А. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2025, № 4, с. 10. Рус.

Рассматривается методика моделирования задач акустики малого масштаба решением уравнений Навье—Стокса в ламинарном приближении. Для пористой структуры определяется коэффициент пропуска, и результаты сопоставляются с данными, полученными решением уравнений акустики. Ключевые слова: акустика, пористые материалы, демпфирование, коэффициент пропуска, уравнения Навье—Стокса.

чевые слова: пористые тела, акустика, демпфирование возмущений, уравнения Навье—Стокса, коэффициент пропускания, термовязкая акустика.

26.01-01.28 Математические модели деформирования оболочечных конструкций и алгоритмы их исследования. Часть I. Модели деформирования оболочечных конструкций. Карпов В.В., Вакусов П.А., Масленников А.М., Семенов А.А. *Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2023. 23, № 3, с. 370-410. Рус.

Приводятся сведения по истории развития теории тонких оболочек в хронологическом порядке с указанием конкретных ученых и их вклада в совершенствование теории. Обзор работ состоит из тех публикаций, которые касаются именно разработки теории оболочек. Излагаются математические модели деформирования тонких упругих оболочек, как наиболее точные, так и упрощенные. Изложение ведется на основе публикации российских авторов, вклад которых в совершенствование теории оболочек наиболее существен (В.В. Новожилов, А.И. Лурье, А.Л. Гольденвейзер, Х.М. Муштари, В.З. Власов). Отмечены также ученые, внесшие существенный вклад в теорию, методы расчета, исследования прочности, устойчивости и колебаний оболочек. Отдельно показано применение этих моделей для исследования ребристых оболочек. Приводятся сведения по разработке нелинейной теории оболочек и показаны нелинейные соотношения для деформаций. Анализируются математические модели деформирования тонких оболочек, полученные разными авторами. Показано, что если срединная поверхность оболочки отнесена к ортогональной системе координат, то выражения деформаций, полученные разными авторами, практически совпадают (отличаются членами, которыми ввиду их малости можно пренебречь). А.Л. Гольденвейзером разработаны математические модели деформирования тонких оболочек, когда их срединная поверхность отнесена к произвольной косоугольной системе координат. Для задач статики записывается функционал полной потенциальной энергии деформации, представляющий собой разность потенциальной энергии и работы внешних сил. Из условия минимума этого функционала выводятся уравнения равновесия и естественные краевые условия. Для задач динамики составляется функционал полной энергии деформации оболочки, в котором кроме потенциальной энергии деформации оболочки и работы внешних сил участвует еще и кинетическая энергия деформации оболочки. Также из условия минимума этого функционала выводятся уравнение движения и естественные краевые и начальные условия. Приводятся некоторые сведения по результатам современных исследований в теории тонких оболочек.

26.01-01.29 Математическая модель колебаний ортотропных сетчатых микрополярных цилиндрических оболочек в условиях температурных воздействий. Крылова Е.Ю. *Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2024. 24, № 2, с. 231-244. Рус.

Построена математическая модель колебаний микрополярных цилиндрических оболочек сетчатой структуры под действием вибрационных и температурных воздействий. Материал оболочки упругий, ортотропный, однородный, моделируемый псевдоконтинуумом Коссера, со стесненным вращением частиц. Принят закон Дюгамеля—Неймана. Сетчатая структура учтена по модели Г.И. Пшеничникова, геометрическая нелинейность — по теории Теодора фон Кармана. Уравнения движения, граничные и начальные условия получены из вариационного принципа Остроградского—Гамильтона на основе кинематической модели С.П. Тимошенко. Построенная математическая модель будет полезной, в том числе при исследовании поведения углеродных нанотрубок в различных условиях эксплуатации.

26.01-01.30 Численное моделирование гидродинамики обтекания тела в режиме суперкавитации. Жильцов К.Н., Тырышкин И.М., Ищенко А.Н., Дьячковский А.С., Чупашев А.В. *Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2025. 25, № 1, с. 70-79. Рус.

Работа посвящена исследованию высокоскоростного обтека-

ния удлиненного тела в водной среде на различных глубинах в режиме суперкавитации. Целью исследования является изучение состояния окружающей среды в окрестности тела, погруженного в воду, и возможного влияния возмущений среды на движение в воде группы метаемых тел. При моделировании обтекания применялась математическая модель сжимаемой среды на основе уравнений Навье—Стокса. Учитывались двухфазность, турбулентность и процесс фазового перехода с использованием моделей Смеси, $k-\epsilon$ и полной модели кавитации Сингхала. В работе рассматривались удлиненные обтекательские ударники с различными диаметрами кавитатора и обтекаемые потоком жидкости с различной скоростью. Численные результаты приводились в сравнении с экспериментальными результатами, полученными при метании ударников на гидробаллистической трассе на базе Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета. В результате численного моделирования было показано, что предложенная математическая модель позволяет точно предсказывать геометрическую форму и размеры каверны. Численные результаты также хорошо согласуются с полуэмпирической аппроксимационной формулой для формы каверны. Расчеты показывают, что в окрестности тела формируется ударно-волновая картина течения и возмущения потока распространяются на достаточное удаление от тела. На прямом уступе с переднего торца тела — кавитатора — происходит срыв потока, а за скачком уплотнения происходит резкое понижение давления до значений давления насыщенного пара. Геометрические размеры каверны зависят от скорости и окружающего давления: чем больше скорость потока, тем больше размеры каверны. Из расчетов следует, что при повышении давления среды, в случае имитации глубоководного метания при одних и тех же условиях для скорости, происходит уменьшение объема каверны и сокращение области распространения возмущений среды, что может положительно сказываться на кучности метания группы тел в воде.

26.01-01.31 Математические модели деформирования оболочечных конструкций и алгоритмы их исследования. Часть II. Алгоритмы исследования оболочечных конструкций. Карпов В.В., Вакусов П.А., Масленников А.М., Семенов А.А. *Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2025. 25, № 3, с. 345-365. Рус.

Математические модели деформирования тонких оболочек, описанные в первой части статьи, представляют собой или вариационную задачу о минимуме функционала энергии деформации оболочки, или краевую задачу для дифференциальных уравнений равновесия оболочки. И в том, и в другом случае задаются еще краевые условия исходя из вида закрепления контура оболочек. Для решения поставленных задач рассмотрены различные методы. Применяя метод Рунге к вариационной задаче о минимуме функционала энергии деформации оболочки или метода Бубнова—Галеркина к краевой задаче для дифференциальных уравнений равновесия оболочки, получаются системы алгебраических уравнений линейных или нелинейных. Применение метода конечных элементов (МКЭ) к решению задач теории оболочек также приводит к системам алгебраических уравнений, порядок которых может быть очень большим. Для решения линейных систем алгебраических уравнений может быть применен метод Гаусса, если порядок системы не превышает 10^3 . Если же порядок системы линейных алгебраических уравнений превышает 10^3 , то для решения таких систем применяют итерационные методы. Для решения нелинейных задач теории оболочек применяют методы продолжения решения по параметру. Если за параметр принимается нагрузка, то это будет метод последовательных нагружений В. В. Петрова, который позволяет свести решение нелинейных задач к последовательному решению линейных задач с изменяющимися на каждом этапе нагружения коэффициентами. Для решения нелинейных задач теории оболочек рассмотрен также метод итераций, когда нелинейные члены переносятся в правую часть и последовательно изменяются на каждом этапе итерации. Для решения нелинейных задач теории оболочек рассмотрен еще метод наискорейшего спуска. А. Л. Гольденвейзером разработан специальный метод — метод асимптотического интегрирования уравнений теории оболочек, который так-

же описан в предлагаемой статье. Если уравнение равновесия оболочек содержит разрывные функции (единичные функции, дельта-функции), то Г.Н. Белосточным разработан специальный метод решения таких уравнений, который также описан в статье. Приводятся примеры применения описанных методов для решения конкретных задач теории оболочек.

26.01-01.32 Уравнение Эйлера тензор динамики сплошной среды уравнение Навье—Стокса. Рамазанов И.М. Инженерная физика. 2025, № 9, с. 53-56. Рус.

В современных представлениях, система уравнений движения сплошной среды состоит из трех уравнений потока импульса частицы среды, и уравнения неразрывности. Однако уравнений требуется 5, по числу неизвестных. Поэтому, в качестве 5-го уравнения накладывается какое-либо ограничение на физические свойства среды. Это может быть уравнение адиабатичности, уравнение баротропности, и пр. Автор вводит в систему уравнение сплошной среды уравнение энергий. Поток кинетической энергии движения частицы приравнен к изменению во времени потенциальной энергии частицы, определяемой градиентом давления. Это позволяет избавиться от излишних ограничений по физическим свойствам среды. Построен оригинальный 4-тензор валентности 2 динамики сплошной среды. Ключевые слова: тензор динамики сплошной среды, уравнения Эйлера, уравнение Навье—Стокса.

26.01-01.33 Формулы для оценки воздействия бора и уединённой волны на полупогруженное тело, полученные аппроксимацией результатов численного моделирования. Гусев О.И., Хакимзянов Г.С., Скиба В.С., Чубаров Л.В. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2025, № 4, с. 120-137. Рус.

Настоящая работа посвящена построению аналитических соотношений для оценки характеристик воздействия вертикального бора и уединённой волны на полупогруженное фиксированное тело. Такие оценки необходимы при проектировании и эксплуатации объектов, размещённых и зафиксированных в прибрежных зонах в виде частично погруженных в воду сооружений. Эти соотношения строятся при помощи аппроксимации результатов выполненных массовых расчётов с перебором таких параметров задачи, как заглубление и длина тела, амплитуда набегающей волны. Рассматриваются максимальные заплески на лицевую и тыльную грани тела, горизонтальная и вертикальная составляющие суммарной волновой силы. Задачи о воздействии бора и уединённой волны численно решаются с использованием одномерных моделей мелкой воды первого и второго длинноволнового приближения соответственно. Приводятся оценки средней и максимальной относительных погрешностей формул, а также сопоставления получаемых с их помощью результатов с решениями из других исследований. Анализ этих сопоставлений позволяет сделать вывод о возможности применения построенных формул в рассматриваемом диапазоне параметров задачи.

26.01-01.34 Крупномасштабные волны Россби во вращающейся космической и астрофизической плазме. Кошкина Д.А., Галстян Т.В., Климачков Д.А., Петросян А.С. Физика плазмы. 2025, № 5, с. 488-494. Рус.

Развита теория крупномасштабных течений вращающейся несжимаемой полностью ионизованной плазмы с учетом эффекта Холла в приближении бета-плоскости для силы Кориолиса. Сила Кориолиса при этом учитывается для каждой компоненты плазмы. В приближении бета-плоскости сила Кориолиса записывается в локальной декартовой системе координат, привязанной к фиксированной точке на сфере, становится неоднородной и поэтому приводит к бета-эффекту как для уравнения движения, так и для уравнения электромагнитного поля. Проведен анализ линейных течений в квазидвумерном приближении. Показано, что во вращающейся полностью ионизованной плазме на сфере появляется новый тип течений — электронная волна Россби, наряду с гидродинамическими волнами Россби нейтральной жидкости. Восстанавливающей силой таких волн является неоднородность вертикальной компоненты угловой скорости вращения на сфере.

26.01-01.35 Пылевая плазма в солнечной системе: атмосферы планет. Попель С.И., Резниченко Ю.С.,

Коптин С.И., Извекова Ю.Н., Дубинский А.Ю., Зелёный Л.М. Физика плазмы. 2025, № 5, с. 495-507. Рус.

Приведен обзор теоретических исследований по пылевой плазме в атмосферах планет Солнечной системы, проводимых в Институте космических исследований РАН. Особое внимание уделено физическим процессам, связанными с такими явлениями, как серебристые облака и полярные мезосферные радиоотражения, пылевые звуковые возмущения в атмосфере Земли, облака в ионосфере Марса, шумановские резонансы. Отмечается, что интенсивные исследования плазменно-пылевых процессов в атмосферах планет в настоящее время удается проводить в отношении Земли и Марса. Для изучения соответствующих процессов в атмосферах других планет Солнечной системы требуются большие знания об исследуемых объектах, которые можно получить только в будущих космических миссиях.

26.01-01.36 Метод расчета вторичного звукового поля цилиндрической оболочки жидкости в дальней зоне. Косарев О.И., Пузакина А.К. Акустический журнал. 2025, № 55, с. 67. Рус.

Предложен упрощенный метод расчета вторичного звукового поля цилиндрической оболочки жидкости в дальней зоне. Дана сравнительная оценка составляющих полного поля, связанных с излучением, вызываемым колебаниями оболочки, и отражением звука от абсолютно твердого тела. Даны рекомендации для использования упрощенного метода. Ключевые слова: вторичное поле, цилиндрическая оболочка, колебания, рассеянное поле, отраженное поле.

26.01-01.37 Моделирование распространения и поглощения быстрых магнитозвуковых волн, возбуждаемых в плазме стелларатора Л-2М. Мещеряков А.И., Гришина И.А. Приборы и техника эксперимента. 2025, № 4, с. 53-60. Рус.

Разработан код для расчета распространения и поглощения быстрых магнитозвуковых (БМЗ) волн, возбуждаемых в плазме установок УТС. Рассчитаны продольные и азимутальные волновые числа БМЗ-волны, распространяющейся в дейтериевой плазме с параметрами, характерными для режима омического нагрева в стеллараторе Л-2М. Частота волны соответствует второй гармонике ионной циклотронной частоты дейтерия. Использовалась модель холодной бесстолкновительной плазмы в цилиндрической геометрии. Рассчитано поглощение БМЗ-волны ионами и электронами. Показано, что для второй гармоники ионной циклотронной частоты дейтерия 79% мощности БМЗ-волны будет поглощаться ионами. Поэтому для эффективной генерации токов увлечения БМЗ-волной в дейтериевой плазме нужно либо использовать более высокие гармоники ионной циклотронной частоты, либо искать альтернативные механизмы поглощения БМЗ-волны электронами, например, метод конверсии мод.

26.01-01.38 Плоские звуковые волны в макроскопической модели двухскоростной двухтемпературной газозвези. Маркелова Т.В., Стояновская О.П. Прикладная механика и техническая физика. 2025, № 6, с. 39-49. Рус.

Для макроскопической модели двухскоростной двухтемпературной смеси газа и дисперсных частиц получено частное решение системы уравнений в частных производных в виде монохроматической звуковой волны. Смесь моделируется в рамках подхода взаимопроникающих континуумов с релаксационными слагаемыми, описывающими обмен импульсом и тепловой энергией между несущей и дисперсной фазами. Частное решение построено методом Фурье и может быть использовано в качестве верификационного теста для численных моделей газодисперсных сред. При произвольном времени скоростной и тепловой релаксации для генерации решения необходимо численно найти комплексные корни дисперсионного соотношения, которое представляет собой полином шестой степени. В случае бесконечно малых времен скоростной и тепловой релаксации (релаксационное равновесие, которое реализуется при моделировании ультрадисперсных смесей) эталонное решение представляется в виде бегущей волны, движущейся со скоростью, равной эффективной скорости звука в газопылевой среде. Показана чувствительность эффективной скорости звука к па-

раметрам, определяющим процессы теплообмена. В открытом доступе представлен код, генерирующий частное решение для произвольных параметров задачи.

26.01-01.39 Влияние амплитуды поперечных возмущений, создаваемых двумя источниками, на расщепление круглой струи. *Ванькова О.С., Яковенко С.Н. Прикладная механика и техническая физика.* 2025. 66, № 6, с. 159-164. Рус.

Выполнено численное исследование затопленной круглой струи при небольшом значении числа Рейнольдса в случае воздействия двух источников гармонических колебаний, вводимых на противоположных боковых границах вблизи входного сечения. Показано, что при определенной комбинации параметров воздействия течение расщепляется на две ветви, как и в ряде других экспериментов и расчетов при наличии акустических и механических возмущений различного типа. Получены распределения скорости потока, осредненной по времени. Изучено влияние амплитуды колебаний на поведение струи. Определена пороговая амплитуда, при превышении которой происходит расщепление течения.

26.01-01.40 Влияние неоднородности поверхности подложки на продольные колебания капли в ограниченном объеме жидкости. *Алабузов А.А. Вестник Пермского ун-та. Серия: Физика.* 2025, № 3, с. 43-52. Рус.

Рассматривается влияние свойств подложек на динамику капли в вибрационном поле. Исследуются собственные и вынужденные колебания капли жидкости, окруженной другой жидкостью в цилиндрическом сосуде конечного объема. В равновесном состоянии капля имеет форму цилиндра и ограничена в осевом направлении двумя параллельными твердыми поверхностями. Учитывается динамика линии контакта трех сред (капля—жидкость—твердая поверхность): скорость движения контактной линии пропорциональна отклонению краевого угла от его равновесного значения. Коэффициент пропорциональности (параметр смачивания) является функцией координат поверхности подложки, что позволяет рассматривать эту поверхность как неоднородную. На сосуд действует вибрационная сила, которая направлена вдоль оси симметрии сосуда. Такие вибрации возбуждают только осесимметричные колебания капли, но из-за неоднородности будут возбуждаться азимутальные моды, спектр которых определяется видом неоднородности. Исследована зависимость частот и декрементов затухания собственных колебаний от параметров задачи. Показано, что неоднородность качественно меняет эти зависимости по сравнению с случаем однородной поверхности. При исследовании вынужденных колебаний обнаружены хорошо заметные резонансные эффекты. Показано, что присутствуют резонансные частоты азимутальных мод.

Лучевая акустика

См. **26.01-01.40**

Рассеяние акустических волн

26.01-01.41 Задача рассеяния плоской звуковой волны упругими телами с полигональной поверхностью. *Лепетков Д.Р. Южно-Сибирский научный вестник.* 2025, № 4, с. 124-129. Рус.

Рассматривается задача рассеяния плоской гармонической звуковой волны на трехмерном упругом теле сложной формы, поверхность которого аппроксимирована полигональной сеткой (треугольным мешем). Основное внимание уделено методу граничных элементов (ВЕМ), который сводит задачу к системе интегральных уравнений по поверхности объекта, что значительно снижает вычислительные затраты по сравнению с методом конечных элементов (FEM). Для повышения устойчивости решения используются комбинированное уравнение Бертона—Миллера и регуляризация сингулярных интегралов. Проведенные численные эксперименты показывают, что ВЕМ позволяет эффективно рассчитывать рассеянные акустические поля, требуя меньше ресурсов по сравнению с FEM, который вынуждает дискретизировать объемные области. Разработанный подход

применим к моделированию акустических процессов и анализу механических свойств материалов сложной геометрии.

26.01-01.42 Расчет рассеяния плоской звуковой волны абсолютно жестким телом произвольной формы на основе граничного интегрального уравнения Бертона—Миллера. *Лепетков Д.Р. Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2025. 25, № 4, с. 535-545. Рус.

Рассматривается задача расчета рассеяния плоской звуковой волны абсолютно жестким трехмерным телом. Предполагается, что поверхность тела задана неструктурированной полигональной сеткой (треугольным 3D-мешем), что важно для практических приложений. Развивается метод граничных элементов на основе регуляризованного интегрального уравнения Бертона—Миллера с параметром α . Применение этого уравнения решает проблему неединственности решения. Несмотря на то, что данный подход изучался многими авторами, некоторые факты оставались неисследованными, в частности, регуляризация для неструктурированных сеток, обоснование метода коллокаций для регуляризованного уравнения Бертона—Миллера. В данной работе даны некоторые ответы на эти вопросы. Предложено регуляризованное уравнение Бертона—Миллера и его дискретная обоснованная версия на основе метода коллокаций. Это позволило разработать устойчивый численный метод, работающий для произвольных волновых чисел. В нем применяется интегрирование по ячейкам Вороного, оценка поверхностного градиента акустического потенциала по соседним вершинам. С целью валидации и тестирования численного метода, обоснования выбора параметра α для случая шара сделан вывод аналитического решения напрямую из уравнения Бертона—Миллера и сферического разложения Джексона функции Грина. Приведены результаты программной реализации. Ключевые слова: акустический потенциал, плоская звуковая волна, абсолютно жесткое тело, метод граничных элементов, уравнение Гельмгольца, функция Грина, граничное интегральное уравнение Бертона—Миллера, треугольный 3D-меш.

26.01-01.43 Применение ортогонального центрального композиционного планирования для исследования акустического рассеяния на системе звукопроницаемых сфер. *Насибуллаева Э.Ш. Мат. моделир.* 2026. 38, № 1, с. 59-74. Рус.

Предложен численный подход, основанный на методе ортогонального центрального композиционного планирования. Данный подход позволяет изучить механизм рассеяния акустической волны на системе звукопроницаемых сфер, а также провести анализ чувствительности рассматриваемой многопараметрической системы к малому изменению нескольких основных параметров (факторов). Метод реализован для трехфакторного вычислительного эксперимента на примере систем, имеющих сильное взаимодействие между рассеивателями. Для полученного уравнения регрессии проведены проверки значимости коэффициентов и адекватности модели для двух простых типов конфигураций и трех значений числа сфер в них, а также поиск оптимальных значений двух целевых функций. Для каждого рассмотренного случая установлены существенные и несущественные факторы; определены параметры, при которых целевые функции достигают наибольшего (наименьшего) значения; определена чувствительность данной функции к малому изменению варьируемых параметров.

Упругие волны в твердых телах

26.01-01.44 Конусы Дирака при распространении волн Лэмба в функционально-градиентном слое. *Саян С.Г., Кузнецов С.В. Акустический журнал.* 2025. 71, № 6, с. 789-796. Рус.

Анализируется появление собственных и вырожденных конусов Дирака, возникающих при распространении волн Лэмба в изотропном функционально-градиентном слое, удовлетворяющем условию Вихерта. Обнаружено, что конусы Дирака появляются в слое с асимметричным относительно срединной поверхности распределением физических свойств и при любом коэффициенте Пуассона. Исследование осуществляется на основе формализма Коши и метода экспоненциальных фундамен-

тальных матриц.

Отражение, дифракция, рассеяние упругих волн

26.01-01.45 Отражение звуковой волны решеткой полубесконечных импедансных экранов. *Канев Н.Г., Долгер А.Р. Акустический журнал.* 2025. 71, № 6, с. 757-761. Рус.

Рассмотрена задача о рассеянии плоской звуковой волны на дифракционной решетке, составленной из полубесконечных тонких экранов, находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга. Показано, что при некоторых значениях импеданса поверхности экранов решетка полностью отражает падающую под любым углом волну. Полученный результат представляется полезным для разработки звукоизолирующих продуваемых конструкций.

См. также **26.01-01.43**

Волноводы, волны в трубах и направляющих системах

26.01-01.46 Вынужденные колебания газа и осаждение аэрозоля в замкнутых резонаторах разной геометрии. *Шайдуллин Л.Р., Губайдуллин Д.А., Фадеев С.А., Зарипов Р.Г., Ткаченко Л.А. Теплофизика высоких температур.* 2025. 63, № 65, с. 736-742. Рус.

Проведены экспериментальные исследования вынужденных колебаний газа и осаждения аэрозоля в цилиндрических резонаторах разного радиуса, цилиндрическом резонаторе со скачком сечения и прямоугольном канале. Получены амплитудно-частотные характеристики колебаний давления газа вблизи резонансных частот. Установлено, что с увеличением площади поверхности колеблющейся границы резонатора (поршня) амплитуда колебаний давления газа возрастает. В условиях резонансных колебаний наблюдается ускоренное уменьшение числовой концентрации капель аэрозоля. Исследовано влияние геометрии резонаторов на эффективность осаждения аэрозоля. Наименьшее время осаждения соответствует однородной трубе большого радиуса, а наибольшее — каналу.

26.01-01.47 Определение эффективных параметров упругих волноводов по измерениям бегущих волн. *Глушков Е.В., Глушкова Н.В., Еремин А.А., Татаркин А.А., Барейко И.А., Киселев О.Н. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 70-71. Рус.

Ультразвуковое зондирование является одним из инструментов определения упругих параметров материала и контроля их изменения в процессе производства и эксплуатации. Для тонкостенных конструкций, изготовленных, например, из слоистых композитных материалов, на первый план выходят бегущие волны, распространяющиеся вдоль слоев. Их волновые характеристики и само число возбуждаемых волн определяется упругими свойствами слоев и их толщиной и зависят также от частоты, обуславливая дисперсию волнового пакета. Тем самым они несут больше информации о слоистой структуре, чем бездисперсионные объемные волны, традиционно используемые в неразрушающем контроле. Эффективные параметры определяются путем минимизации невязки между расчетными и измеренными дисперсионными характеристиками при варьировании входных параметров расчетной модели. Здесь возникают две самостоятельные задачи: 1) разработка эффективных компьютерных моделей, позволяющих получать амплитудно-частотные и дисперсионные характеристики каждой из бегущих волн, возбуждаемых в многослойном упругом волноводе, в том числе и с учетом анизотропии упругих свойств; 2) выделение волновых характеристик из массива данных измерений. Важную роль играет также выбор целевой функции и алгоритма ее минимизации. В докладе обсуждается решение этих задач на основе полуаналитического подхода, базирующегося на явных интегральных и асимптотических представлениях волновых полей, их возбуждений и регистрации пьезосенсорами и лазерно-оптическими средствами и выделении волновых чисел методом *H*-функций и матричных пучков на примере восста-

новления свойств как изотропных пластин (сталь,

Излучение источников, импеданс, картины полей

26.01-01.48 Визуализация форм колебаний при флаттере при испытаниях на флаттер динамически подобных моделей в АДТ. *Пронин М.А., Долгополов А.В., Орлова О.А., Волков В.В., Тицоннов Г.М. Труды Центрального аэрогидродинамического института им. проф. Н. Е. Жуковского (ЦАГИ).* 2023, № 2819, с. 175-179. Рус.

Численные методы, компьютерное моделирование

26.01-01.49 Численное моделирование истечения сверхзвуковой перерасширенной газовой струи в жидкость. *Емельянов В.Н., Яковчук М.С. Теплофизика высоких температур.* 2025. 63, № 2, с. 287-297. Рус.

Рассматривается численное моделирование подводного истечения сверхзвуковой перерасширенной воздушной струи. Расчеты проводятся в нестационарной трехмерной постановке с использованием осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса (течение в сопле) и вихререзающего подхода к моделированию турбулентности (течение в струе). Расчет взаимодействия газовой среды с жидкостью осуществляется с помощью многофазной модели объема жидкости, учитывающей силы поверхностного натяжения и сжимаемости среды. Проводится анализ структурных особенностей турбулентности, образующихся при истечении сверхзвуковой струи воздуха в воду. В результате расчетов получена нестационарная картина формирования сверхзвуковой струи и газовой полости в жидкости, визуализирована ударно-волновая структура течения, а также оценен уровень пульсаций давления в жидкости. На качественном уровне проводится сопоставление картины течения при истечении струи воздуха в воздух и в воду. Полученные результаты сопоставляются с данными экспериментальной высокоскоростной фоторегистрации и имеющихся численных расчетов.

26.01-01.50 Подходы к численному моделированию цунами, вызванных оползновыми процессами. *Тицончук Е.А., Костенко И.С., Толикина М.Ю. Экологические системы и приборы.* 2025, № 11, с. 22-30. Рус.

Оценка устойчивости естественных склонов является актуальной задачей не только для инженерно-геологических изысканий, но и для фундаментальной науки. В статье рассмотрено современное состояние теории моделирования оползней, описаны применяемые методы и подходы, основные типы численных моделей. Приведены результаты моделирования оползневой процесса, выполненного при помощи программного комплекса NAMI DANCEA. Представлены результаты численных расчетов схода подводных оползней, расположенных к юго-востоку от побережья о. Сахалин. Будущие перспективы развития этой области науки связаны с дальнейшим совершенствованием существующих моделей, внедрением инновационных технологий и созданием комплексных систем мониторинга и управления рисками. Ключевые слова: оползень, численное моделирование, цунами, двухслойная модель.

26.01-01.51 Структура и устойчивость сверхзвукового пограничного слоя с поперечным градиентом давления, вызванным наклонной ударной волной. *Сидоренко А.А., Кириловский С.В., Поплавская Т.В. Теплофиз. и аэромех.* 2025, № 3, с. 447-458. Рус.

Представлены результаты численного моделирования взаимодействия сверхзвукового пограничного слоя на плоской пластине с наклонной ударной волной, порожденной тонким клином, расположенным под прямым углом к поверхности пластины. Задача решалась с использованием объединения CFD-кода, основанного на решении RANS, с программным комплексом LOTRAN 3.0, базирующемся на eN-методе. Выявлены особенности структуры течения с наличием зон первичного и вторичного отрыва. Показано, что индуцированный ударной волной поперечный градиент давления приводит к развитию неустойчивости волн Толлмина—Шлихтинга и неустойчивости вихрей

поперечного течения.

26.01-01.52 Использование псевдоспектрального метода высокого порядка НОСМ для моделирования нелинейных волн на поверхности воды конечной глубины. *Слюняев А.В. Фундаментальная и прикладная гидродинамика*. 2025. 18, № 4, с. 28-49. Рус.

Исследованы режимы и ограничения метода численного решения уравнений гидродинамики, использующего аппроксимацию приповерхностного потенциала скорости разложением Тейлора высокого порядка (High Order Spectral Method, НОСМ). Этот подход рассматривается в контексте моделирования больших ансамблей полей смещения морской поверхности в условиях конечной глубины. Основное внимание уделено описанию сильно нелинейных волн и волн с широким частотным спектром. Исследование выполнено в планарной геометрии.

26.01-01.53 Численная модель описания трехмерных акустических полей в неоднородных средах с использованием широкоугольного параболического приближения. *Коннова Е.О., Карзова М.М., Хохлова В.А., Юлдашев П.В. Акустический журнал*. 2025. 71, № 6, с. 762-779. Рус.

Представлен численный метод расчета акустического поля в плавно-неоднородной среде, основанный на использовании трехмерной широкоугольной параболической модели и разложении модифицированного пропагатора однонаправленного волнового уравнения в операторный ряд Фурье. Рассмотрена задача фокусировки ультразвукового пучка, создаваемого излучателем с параметрами, характерными для устройств неинвазивной ультразвуковой хирургии, в среде с плавной неоднородностью, имитирующей неоднородности мягких биологических тканей. Выполнен поиск оптимальных значений свободных параметров модифицированного пропагатора, позволяющих получить наименьшую ошибку аппроксимации пропагатора рядом Фурье с конечным числом гармоник. Проведено сравнение результатов моделирования, полученных на основе разработанного метода и с использованием эталонной полноволновой псевдоспектральной численной модели «k-Wave».

26.01-01.54 Геоакустическая инверсия по данным о пространственном затухании потока акустической мощности. *Холодов Д.В., Муханов П.Ю., Шуруп А.С. Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 6. Рус.

В рамках численного моделирования и обработки экспериментальных данных, полученных на гидроакустическом полигоне МГУ, исследуются возможности оценки геоакустических параметров мелководной акватории. Используются данные с комбинированного приемного модуля, включающего приемник давления и векторный приемник, позволяющий регистрировать три взаимортогональные компоненты колебательной скорости. В качестве исходных данных для решения обратной задачи используется информация о пространственном затухании потока акустической мощности в различных частотных диапазонах. Используется байесовский метод оценки параметров. Приводятся результаты оценки распределений функций плотностей вероятностей восстанавливаемых параметров, полученные МСМС методом (Markov chain Monte Carlo). Сравнение результатов восстановления с данными предыдущих исследований, проводимых на полигоне, указывает на работоспособность развиваемого подхода. Ключевые слова: геоакустическая инверсия, векторный приемник, байесовский метод оценки параметров, методы Монте-Карло с Марковскими цепями.

26.01-01.55 Численное моделирование поверхностных акустических волн в программном комплексе COMSOL Multiphysics. *Жостков Р.А. Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 7. Рус.

Для решения современных задач геофизической сейсморазведки широко применяются методы, основанные на использовании поверхностных акустических волн (ПАВ). Многие из этих подходов нуждаются в совершенствовании, включая теоретическое обоснование, как, например, метод микросейсмического зондирования, выгодно отличающийся простотой проведения полевых работ и обработки полученных данных. Поскольку аналитическое рассмотрение распространения ПАВ в сложно построенных неоднородных средах затруднено, то особую роль

в этих исследованиях приобретает численное моделирование. Эффективным инструментом для этого выступает программный комплекс COMSOL Multiphysics, особенности работы в котором рассмотрены в настоящем докладе. Уделено внимание построению геометрии и сетки конечных элементов, настройке граничных условий и особенностям борьбы с отраженными от границ модели сигналами. Рассмотрены процедуры верификации и валидации численной модели, а также поиска оптимальных настроек. Исследованы возможности нескольких решателей в различных режимах исследования с учетом доступных вычислительных ресурсов. Ключевые слова: геоакустика, сейсморазведка, численное моделирование, поверхностные акустические волны, неоднородная среда.

26.01-01.56 Подавление ультразвуковых волн в стенках металлических труб системой поверхностных неоднородностей. *Сучков С.Г., Николаевцев В.А., Сучков Д.С. Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 94. Рус.

Проведено математическое моделирование прохождения ультразвуковых волн в стенках металлической трубы с поверхностными неоднородностями прямоугольной и треугольной форм. В программном пакете COMSOL Multiphysics рассчитаны и построены акустические поля в стенке трубы и в поверхностных неоднородностях, рассчитаны коэффициенты прохождения и отражения ультразвуковых волн от нерегулярной системы указанных неоднородностей. Показано, что в полосе частот 80–120 кГц возможно подавление ультразвуковых волн, распространяющихся по трубе, не менее чем на 30 дБ в зависимости от длины системы неоднородностей. Ключевые слова: ультразвук, волна Лэмба, металлические трубы, подавление шумов, система поверхностных неоднородностей.

См. также **26.01-01.28**, **26.01-01.30**, **26.01-01.31**

Методы измерений и инструменты

26.01-01.57 Анализ временных программно-аппаратных задержек в схемах аудиомодулей с киберфизической SPICE-эмуляцией. *Левченко Н.Р., Костин М.С. RUSSIAN TECHNOLOGICAL JOURNAL (Предыдущее название: Российский технологический журнал (с 2016 по 2021 гг.), Вестник МГТУ МИРЭА (с 2013 по 2015 гг.))* 2025. 13, № 5, с. 51-62. Рус.

Проведен параметрический анализ влияния временных задержек в схемах киберфизической эмуляции сигнальных аудиомодулей, вносимых аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями программно-аппаратного интерфейса, центральным процессором и программной средой визуализационной эмуляции в зависимости от выбранного протокола «ввода-вывода» данных и установленных преднастроек программного блока: частоты дискретизации, размера и времени буфера, числа каналов. Предложен метод киберфизической SPICE-эмуляции аналоговых аудиоустройств. Получены результаты анализа формирования временных задержек в схемах сигнальных аудиомодулей с киберфизической эмуляцией при вариации преднастраиваемых параметров, влияющих на задержки сигналов, с применением двойников. Разработаны технические рекомендации выбора корректирующих параметров временных задержек от 20 до 120 мс для обеспечения постобработки аудиосигнала.

Колебания распределенных систем, вибрации, структурная акустика

26.01-01.58 Теория Тимошенко изгиба пластины в поле высоких давлений. *Ильгамов М.А. Известия Российской академии наук. Механика твердого тела*. 2025, № 6, с. 3-21. Рус.

Дан вывод линейного уравнения цилиндрического динамического изгиба упругой пластины, на лицевые поверхности которой действуют высокие давления. Кроме инерции вращения и поперечного сдвига, учитываются обжатие пластины по толщине и связанная с ним продольная сила. Производится уточнение поперечной распределенной силы, зависящей от средне-

го давления и кривизны срединной поверхности. Подробно рассматривается зависимость статического изгиба от среднего давления на поверхности пластины и жесткости опор в продольном направлении.

26.01-01.59 Проблема оценки выносливости элементов корпуса низколетящих орбитальных объектов. Лесняк И.Ю., Соголовский З.Н., Фёдорова М.А., Гавриленко С.В., Казаков А.Ю., Коновалов В.Е. Омский научный вестник. 2024, № 2, с. 29-36. Рус.

Анализируется вопрос расчета выносливости корпуса низколетящих орбитальных объектов от циклической температурной знакопеременной деформации за пределами закона Гука. Констатируется практическое отсутствие методики прямого расчета. Предлагается косвенный расчет на базе имеющихся экспериментальных данных по механическим испытаниям образцов с параметром «напряжение» и алгоритм перехода от фактических деформаций к эквивалентным напряжениям. Методика расчета базируется на использовании существующей экспериментальной кривой усталости при симметричном цикле изгиба, результатах статических испытаний на растяжение при экстремальных температурах цикла и обобщении известной информации о закономерностях изменения параметров выносливости рассматриваемого материала применительно к условиям циклической температурной знакопеременной деформации циклической температурной знакопеременной деформации. Адекватность методики проверяется на примере разгерметизации корпуса орбитального модуля «Заря» международной космической станции, изготовленного из сплава АМг6 после $\approx 120\,000$ циклов знакопеременного температурного нагружения. Отличие расчетной и фактической выносливости сплава АМг6 находится в пределах естественного разброса в 20% при испытаниях на усталость.

26.01-01.60 Экспериментальное определение нелинейной функции демпфирования механических систем. Калашиников В.А., Божан В.В., Пеньков К.В. Омский научный вестник. 2024, № 3, с. 5-13. Рус.

Коэффициенты нелинейной функции демпфирования механической системы с одной поступательной степенью свободы определяются по экспериментально полученной осциллограмме свободных колебаний. Функция моделируется тремя видами трения: сухим, линейно-вязким и нелинейно-вязким. Определяются численные значения коэффициентов демпфирования. Получена характеристика диссипативной силы в функции перемещения, по которой находится количество рассеянной за период энергии. Методом энергетического баланса приближённо находится эквивалентный коэффициент относительного затухания, с использованием которого выполняется численное интегрирование уравнения движения. Наложением расчетной осциллограммы на экспериментальную показывается удовлетворительное совпадение огибающей и фазы колебательного процесса. Уточнение параметров функции демпфирования может быть найдено аппроксимацией экспериментальных амплитуд. Найденное значение коэффициента относительного затухания может быть использовано для решения нелинейных задач динамики слабодемпфированных систем.

26.01-01.61 Расчёт частот и форм собственных изгибных колебаний конструкций ракетно-космической техники. Малыгина О.И., Макаръянц Г.М. Труды МАИ. 2025, № 144, с. <https://trudymai.ru/published.php?ID=185684>. Рус.

Рассматриваются вопросы выбора рационального размера балочного конечного элемента (КЭ) конечно-элементной модели (КЭМ), применяемой для решения задач динамики упругих конструкций ракетно-космической техники. Точность динамического расчёта зависит от корректного КЭ моделирования собственных частот и форм колебаний ракеты-носителя (РН), однако существует неопределённость в отношении выбора размера КЭ, что впоследствии приводит к трудностям верификации КЭМ. Верификация модели, с помощью доказательства её сеточной сходимости, подразумевающей уменьшение размера КЭ, в инженерной практике приводит к недопустимым временным затратам. Поэтому целью исследования является разработка рекомендаций по выбору максимально допустимого раз-

мера балочного КЭ динамической КЭМ модели РН. Первоначально задача поиска собственных частот и форм колебаний была решена для тестового случая незакрепленной однородной балки, для которой была разработана КЭМ с традиционной диагональной матрицей масс (ДММ), а также КЭМ с более точной согласованной матрицей масс (СММ), точность моделирования оценивалась путём сравнения с известными аналитическими решениями. Выявлено, соотношение для определения рационального количества элементов при использовании СММ, для случая использования ДММ, получены аналогичные приближенные зависимости на основе метода наименьших квадратов. В дальнейшем разработанная рекомендация по выбору размера КЭ с СММ была использована для создания эталонной динамической модели РН, которая была использована при верификации КЭМ, построенной на базе КЭ с ДММ. Это позволило найти адекватное количество КЭ для КЭМ с ДММ реальной конструкции РН большого продольного удлинения тандемной компоновки.

26.01-01.62 Нелинейные колебания прямоугольной пластины. Алгазин С.Д. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2025, № 3, с. 17-21. Рус.

Построена математическая модель нелинейных колебаний изотропной прямоугольной пластины. Разработан численный алгоритм без насыщения для решения данной проблемы. В качестве искомых переменных выбраны прогиб и усилия в срединной плоскости пластины. Задача сведена к системе нелинейных обыкновенных уравнений. Ключевые слова: уравнения Кармана, нелинейные колебания, прямоугольная пластина, численный алгоритм без насыщения.

26.01-01.63 Об одном новом подходе к идентификации неоднородных механических свойств упругих тел. Ватульян А.О., Юров В.О. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2024, 24, № 2, с. 209-221. Рус.

Представлен новый подход к решению задачи об идентификации переменных характеристик неоднородного упругого изотропного тела. Приведены наиболее употребительные постановки задач об определении переменных механических характеристик (параметры Ламе и плотность — функции координат). Обратная задача идентификации свойств в силу своей существенной нелинейности обычно решается итерационным образом, причем каждая итерация требует решения прямой задачи для некоторого начального приближения и системы интегральных уравнений Фредгольма первого рода с гладкими ядрами для нахождения поправок. Такой подход, в свою очередь, требует задания поля перемещений в области, в которой осуществляется нагружение. Предложен подход, на базе которого возможно осуществлять реконструкцию при съеме дополнительной информации о поле смещений в области, отличной от области нагружения, в более узком пространстве поиска. Представлен пример такой реконструкции в задаче о продольных колебаниях неоднородного стержня, где амплитудно-частотная характеристика задана во внутренней точке стержня, а нагружение реализовано на торце. Приведены результаты вычислительных экспериментов по реконструкции модуля упругости и плотности в виде двух функций продольной координаты.

26.01-01.64 Гиперболический погранслои в окрестности фронта волны сдвига в оболочках вращения. Кириллова И.В. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2024, 24, № 3, с. 394-401. Рус.

Строится асимптотическим методом уравнения гиперболического погранслоя в тонких оболочках вращения в малой окрестности фронта волны сдвига (с учетом его геометрии) при ударных торцевых воздействиях нормального типа. Используется специальная система координат, явно выделяющая узкую зону действия погранслоя. В этой системе координатные линии, определяемые нормальными к срединной поверхности, заменяются линиями, образующими поверхность переднего фронта волны сдвига. Асимптотическая модель геометрии переднего фронта волны предполагает, что эти образующие формируются повернутыми нормальными к срединной поверхности. Определены главные компоненты рассматриваемого типа напряженно-

деформированного состояния: нормальное перемещение и касательное напряжение. Разрешающее уравнение рассматриваемого погранслоя является гиперболическим уравнением второго порядка с переменными коэффициентами относительно нормального перемещения.

26.01-01.65 Распространение гармонических волн в вязкоупругих средах, описываемых моделями с дробными производными. *Модестов К.А., Шитикова М.В. Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2025. 25, № 2, с. 214-230. Рус.

Исследуются характеристики гармонических волн, распространяющихся в трехмерных изотропных вязкоупругих средах, с помощью обобщенных моделей Кельвина—Фойгта, Максвелла и стандартного линейного твердого тела с дробными производными. Найдены асимптотические значения скоростей продольных и поперечных волн, их коэффициентов затухания и логарифмических декрементов.

26.01-01.66 Колебания конечномерных моделей растяжимой цепной линии. *Дегилевич Е.А., Смирнов А.С. Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2025. 25, № 3, с. 332-344. Рус.

Статья посвящена исследованию собственных частот колебаний конечномерных моделей растяжимой гибкой цепной линии. Приводятся аналитические решения для двухгрантельной и трехгрантельной моделей, а также результаты компьютерного моделирования двадцатигрантельной схемы растяжимой цепной линии. В случае аналитического подхода применяется координатный метод решения, при котором расписываются координаты сосредоточенных масс гантельных схем в отклоненном положении. В случае численного подхода используется программный комплекс MSC.ADAMS, позволяющий анализировать статику, кинематику и динамику многотельных систем. Полученные результаты для рассматриваемых моделей растяжимой цепной линии находятся в хорошем качественном соответствии между собой. Кроме того, при рассмотрении предельных переходов от растяжимого варианта к нерастяжимому также наблюдается хорошая согласованность ожидаемых эффектов с найденными результатами. Для конечномерной двадцатигрантельной модели нерастяжимой цепной линии с сосредоточенными параметрами проводится сопоставление первых трех безразмерных частот с частотами непрерывной модели, значения которых были найдены ранее. Наблюдается отличная схожесть результатов, подтверждающих применимость двадцатигрантельной схемы для описания динамики цепной линии на низших частотах колебаний. Помимо определения частот, привычных для классической нерастяжимой цепной линии, проводится анализ новых «мигрирующих» частот, которые появляются вследствие возникновения дополнительных степеней свободы из-за учета растяжимости. Строятся частотные зависимости от параметра, характеризующего податливость цепной линии, что позволяет оценить, как быстро «мигрирующие» частоты перемещаются из высокочастотного диапазона в зону низших частот по мере ослабления жесткости цепи. Полученные формулы и рассмотренные модели имеют как теоретическую ценность, так и хорошую применимость для прикладных задач.

26.01-01.67 Определение нелинейных сил второго порядка, обусловленных разностью частот, возникающих при поперечно-горизонтальных, вертикальных и бортовых колебаниях судна на основании трехмерной потенциальной теории. *Семенова В.Ю., Альбаев Д.А. Морские интеллектуальные технологии.* 2025, № 3-1, с. 42-50. Рус.

Рассматривается определение нелинейных сил второго порядка, обусловленных разностью частот и возникающих при изолированных поперечно-горизонтальных, вертикальных и бортовых колебаниях судна в бесконечно-глубокой жидкости. Определение данных сил производится на основании разработанного ранее Альбаевым Д.А. метода расчета нелинейных сил, основанного на применении трехмерной потенциальной теории, методов малого параметра и интегральных уравнений. В последствии выполнено расширение возможностей данного метода. В настоящей статье выполнена апробация полученных результа-

тов расчетов нелинейных сил, обусловленных разностью частот, а именно проверено выполнение условий симметрии, характерных для данных сил и выполнено сопоставление полученных расчетов с расчетами аналогичных сил, выполненных по двумерной теории. Проведенное сопоставление показало убедительное согласование результатов. Приводятся результаты расчетов нелинейных сил, для различных типов судов и различных комбинаций частот. Показано значительное увеличение нелинейных сил при сочетании частот $\omega_2=1.0 \text{ c}^{-1}$, и изменении ω_1 от 0.1 до 1.0 c^{-1} . Бесспорным достоинством метода, в отличие от двумерного, является его возможность рассчитывать нелинейные силы, обусловленные разностью частот при различных значениях курсовых углов. В работе приводятся расчеты различных нелинейных сил и моментов, при разных сочетаниях курсовых углов пакетов волн с частотами ω_2 и ω_1 . Показано значительное увеличение нелинейных сил при равенстве обоих курсовых углов 90°. Приведено сравнение нелинейных сил, обусловленных разностью частот с нелинейными силами, обусловленными суммой, полученными авторами ранее. Показана необходимость учета обеих категорий сил. Ключевые слова: нелинейные силы, разность частот, метод малого параметра, функция Грина, трехмерная потенциальная теория.

26.01-01.68 Исследование влияния мелководья на нелинейные силы второго порядка, обусловленные суммой частот, возникающие при поперечных видах качки судов на бихроматическом волнении. *Семенова В.Ю., Альбаев Д.А. Морские интеллектуальные технологии.* 2025, № 4-1, с. 69-77. Рус.

Проводится исследование влияния жидкости ограниченной глубины на значения нелинейных сил второго порядка, обусловленных суммой частот и возникающих при изолированных поперечно-горизонтальных, вертикальных и бортовых колебаний судна. Определение данных сил проводится на основании метода, разработанного авторами ранее на основании трехмерной потенциальной теории, методов малого параметра и интегральных уравнений и распространеного на случай жидкости ограниченной глубины. Выполнена апробация метода, а именно проверено выполнение условий, характерных для данных сил. Приводятся результаты расчетов нелинейных сил, для различных типов судов и различных комбинаций частот для разных значений относительной глубины. Показано значительное увеличение нелинейных сил при сочетании частот ω_2 , равной 1 c^{-1} и изменении ω_1 от 0.1 до 1.0 c^{-1} . Проведено исследование влияния изменения относительной глубины на нелинейные силы и моменты, обусловленные суммой частот. В работе приводятся расчеты различных нелинейных сил и моментов, возникающих при поперечно-горизонтальной, вертикальной и бортовой качке различных судов при разных сочетаниях Н/Т и частот волнения ω_2 и ω_1 . Показано значительное увеличение нелинейных сил при уменьшении относительной глубины для различных сочетаний частот бихроматического волнения. Ключевые слова: нелинейные силы, сумма частот, метод малого параметра, функция Грина, трехмерная потенциальная теория, мелководье ограниченной глубины, бихроматическое волнение.

26.01-01.69 Построение нелинейной модели движения железнодорожной тележки и исследование устойчивости поперечных колебаний с учетом внешних возмущений. *Дружинина О.В., Лисовский Е.В. Нелинейный мир.* 2025. 23, № 2, с. 32-37. Рус.

Постановка проблемы. Построение нелинейных моделей транспортных систем и анализ различных типов устойчивости движения систем железнодорожного транспорта является актуальным научным направлением, связанным с обеспечением безопасности движения и с разработкой цифровых двойников. В качестве важных задач следует выделить построение моделей с учетом криволинейного профиля катания и внешних возмущений, а также исследование устойчивости решений нелинейных систем дифференциальных уравнений, моделирующих поперечные колебания транспортных средств. Цель. Построить и исследовать обобщенную модель движения железнодорожной тележки с использованием методов теории устойчивости движения. Результаты. Предложено обобщение учитывающей криволинейный профиль катания линейной модели поперечных колебаний железнодорожной тележки при нелинейном случае.

Рассмотрено построение нелинейной модели, описываемой двумя дифференциальными уравнениями второго порядка, и выполнен переход к системе четырех дифференциальных уравнений первого порядка в нормальной форме. В предложенной модели учтены внешние возмущения, описываемые нелинейными функциями. Отмечено, что указанные возмущения могут иметь характер внешних воздействий на движение железнодорожной тележки, связанных, с ветровыми или сейсмическими нагрузками. На основе первого и второго методов Ляпунова получены условия устойчивости рассматриваемой динамической модели транспортной системы. Практическая значимость. Полученные результаты исследования могут найти применение при решении задач, связанных с обеспечением устойчивых режимов функционирования систем транспорта, с разработкой алгоритмов анализа устойчивости для последующей реализации в виде комплекса программ. Результаты направлены на реализацию моделей динамики подвижного состава с учетом их использования для разработки цифровых двойников элементов транспортной инфраструктуры.

26.01-01.70 Описание пластин с помощью матричного уравнения Клейна—Гордона. *Князева К.С., Шелест Е.Л., Шанин А.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5, с. 625-632. Рус.

Матричное уравнение Клейна—Гордона описывает волноводы с дискретной структурой сечения. Оно также может рассматриваться как модель сплошного волновода, полученная в результате применения волноводного метода конечных элементов. В данной работе изучается возможность описания изгибных колебаний тонкой пластины с помощью матричного уравнения Клейна—Гордона. Вопрос не является тривиальным, так как матричное уравнение Клейна—Гордона содержит производные по времени и по координате второго порядка, а изгибные колебания описываются уравнением с производной по координате четвертого порядка. В работе выводятся матричные уравнения Клейна—Гордона различной размерности для пластины. Показано, что линейная аппроксимация деформации пластины по сечению приводит к завышенным значениям жесткости пластины, но более сложные модели приводят к верным значениям.

26.01-01.71 Колебания подвешенного в воздушном потоке цилиндра со стабилизатором. *Рябичин А.Н., Иванов М.И., Данилов А.В.* *Журнал технической физики.* 2026. 96, № 3, с. 477-485. Рус.

В экспериментах в аэродинамической трубе изучены колебания кругового цилиндра, снабженного стабилизатором. Цилиндр подвешен в воздушном потоке на тросовой подвеске и может колебаться. Ось цилиндра в равновесном положении направлена под небольшим отрицательным углом атаки к направлению скорости набегающего потока. Стабилизатор удерживает цилиндр в этом положении, обеспечивая малое лобовое сопротивление. Колебания цилиндра в воздушном потоке зарегистрированы акселерометром, который вместе с контроллером находится внутри цилиндра. Прибор позволил измерять три проекции угловой скорости цилиндра на оси системы координат, связанной с цилиндром. В отдельном эксперименте определены аэродинамические коэффициенты сил и моментов, действующих на цилиндр. Модифицирована математическая модель, ранее предложенная для описания колебаний цилиндра. Модель правильно описывает угловые колебания цилиндра вокруг оси, близкой к вертикальной, поперечные колебания, амплитуда которых увеличивается с ростом скорости воздушного потока, и режим биений, возникающий в определенном диапазоне скоростей воздушного потока. Ключевые слова: аэродинамическая труба, акселерометр, плохо обтекаемое тело, математическая модель, обыкновенные дифференциальные уравнения, числа подобия.

26.01-01.72 Экспериментальное изучение поперечных колебаний твэла пульсирующего реактора. *Верхоглядов А.Е.* *Журнал технической физики.* 2026. 96, № 3, с. 624-630. Рус.

С целью уточнения параметров математической модели реактора периодического действия и разработки конструкции активной зоны нового источника нейтронов был изготовлен стенд вибродиагностики модельных твэлов. Описаны устрой-

ство стенда и задачи, которые планируется на нем решить. Результаты первых измерений сравнены с численным моделированием. Обсуждены перспективы дальнейших экспериментов и развития приборной базы стенда. Ключевые слова: источник нейтронов, реактор периодического действия, активная зона, нитрид нептуния, твэл, вибродиагностика.

26.01-01.73 Моделирование вынужденных изгибных колебаний стержня-полосы с закрепленным участком конечной длины при заданных перемещениях упругого опорного элемента. *Паймушин В.Н., Шишкин В.М.* *Прикладная механика и техническая физика.* 2025. 66, № 4, с. 188-205. Рус.

Решается задача о вынужденных изгибных колебаниях стержня-полосы с двумя консолями и закрепленным участком конечной длины на одной из лицевых поверхностей. Для описания процессов деформирования консолей используется классическая модель Кирхгофа—Лява, закрепленного участка — уточненная сдвиговая модель Тимошенко с учетом поперечного обжатия, модифицированная за счет учета наличия заданных перемещений опорного элемента. Сформулированы условия кинематического сопряжения закрепленного участка и консолей, с учетом которых на основе принципа Гамильтона—Остроградского получены уравнения движения и граничные условия, а также силовые условия сопряжения участков стержня. Построено точное аналитическое решение задачи о гармонических вынужденных колебаниях при воздействии гармонической поперечной силы на конце одной из консолей стержня. Проведены численные эксперименты, в которых исследовались вынужденные изгибные колебания стержня, выполненного из дюралюминия марки Д16АТ. Показано, что колебания ненагруженной консоли стержня в основном обусловлены заданными перемещениями опорного элемента.

26.01-01.74 Неустойчивость колебаний рельсовой направляющей при воздействии движущейся распределенной нагрузки. *Ерофеев В.И., Лисенкова Е.Е.* *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение.* 2025, № 4, с. 40-55. Рус.

Рассмотрена задача о колебаниях рельсовой направляющей при движении по ней протяженного состава. В качестве модели рельсовой направляющей использована балка, лежащая на упругом основании, состав рассмотрен как одномерная среда с нулевой изгибной жесткостью. Предполагается, что при колебаниях на балку со стороны вагонов действует распределенная нагрузка. Уравнение, описывающее динамическое поведение балки с учетом движущейся нагрузки, приведено в эйлеровых координатах и безразмерной форме. Представлены дисперсионные кривые, рассчитанные при различных скоростях движения нагрузки. Найден критический скорости ее движения, при переходе через которые изменяется число возбуждаемых в направляющей изгибных волн. Эти скорости зависят от физико-механических свойств направляющей, нагрузки и основания. Определено, при каких условиях частота имеет отличную от нуля мнимую часть, поскольку именно отрицательное значение мнимой части частоты ассоциируется с неустойчивостью — возможностью экспоненциального роста амплитуды возмущения во времени. Установлено минимальное значение скорости движения нагрузки, при котором наступает неустойчивость направляющей по поперечным колебаниям. Показано, что на основе анализа задачи кинематики можно строить прогнозы возможных режимов устойчивости и/или неустойчивости вибраций рельсовой направляющей при движении высокоскоростных объектов.

См. также **26.01-01.28**, **26.01-01.31**

Волны в многофазных, пористых, резиноподобных средах, полимерах

26.01-01.75 Численное исследование динамики прохождения волнового импульса из газа в пористую среду, насыщенную пузырьковой жидкостью. *Валиазматова О.Ю., Гималтдинов И.К.* *Прикладная механика и техническая физика.* 2025. 66, № 6, с. 138-149. Рус.

Исследован процесс прохождения ударно-волнового импульса из газа в пористую среду, насыщенную пузырьковой жидкостью. Приводится описание процесса в случае одномерного плоского движения с использованием предположения о вязкоупругом поведении скелета пористой среды. Рассматривается

динамика ударного импульса в пористой среде, насыщенной газожидкостной смесью, в случае когда скелет является песчаником или насыпным песком. Проводится анализ влияния параметров ударного импульса и газожидкостной смеси на динамику ударных импульсов.

Нелинейная акустика

Теория нелинейных акустических волн

26.01-01.76 Особенности модуляционной неустойчивости изгибно-гравитационных волн в морях с ледовым покрытием. Зубарев Н.М., Степаняц Ю.А. Инженерная физика. 2025, № 10, с. 3-16. Рус.

Как известно, использование уравнений гидродинамики с учётом граничных условий на поверхности жидкости в рамках модели упругой тонкой пластины порождает изгибно-гравитационные волны (ИГВ). Свойства этих волн в линейном приближении изучались во множестве статей и монографий. Гораздо меньше публикаций посвящено нелинейным процессам, происходящим в системе лёд—вода. Слабонелинейная теория таких волн была разработана в ряде работ, в которых, в частности, было выведено нелинейное уравнение Шрёдингера (НУШ) для конкретных случаев. Общий анализ модуляционной неустойчивости для основных управляющих параметров был проведен в работе Слюняева и Степаняца, 2022 г. С помощью критерия Лайтхилла были найдены условия, при которых квазисинусоидальная волна становится неустойчивой относительно амплитудной модуляции. На границах зон модуляционной неустойчивости стандартное уравнение НУШ становится непригодным, что требует его обобщения. В данной работе показано, что в тех случаях, когда дисперсионный коэффициент НУШ обращается в нуль, учёт эффектов следующего порядка малости порождает обобщённое НУШ, которое тоже обладает решениями в виде солитонов огибающей со специфическими свойствами. Когда сжатие льда достигает определенного порогового значения, линейная теория предсказывает возникновение вспучивания, деформацию и разрушение ледяной пластины. В данной работе показано, что при слабозакритических сжатиях могут существовать различные динамические режимы колебаний ледяной пластины. Представлены оценки характерных параметров волновых возмущений с использованием реальных физических данных. Ключевые слова: ледовое покрытие, изгибно-гравитационные волны, модуляционная неустойчивость, солитон огибающей.

26.01-01.77 Эффективность нелинейного акустического взаимодействия и параметр нелинейности воды с пузырьками. Буланов В.А., Соседко Е.В. Акустический журнал. 2025, 71, № 5S, с. 62. Рус.

Представлены результаты исследований эффективности нелинейного взаимодействия в воде с пузырьками при различной функции распределения пузырьков по размерам и при различных частотах первичных волн накачки. Проведен анализ вклада нелинейности пузырьковых структур и поглощения звука при анализе эффективности параметрических излучающих антенн. Полученные результаты проанализированы применительно к применению параметрических антенн для изучения распределения нелинейного акустического параметра воды и поглощения звука в верхнем слое океана. Основной вклад в нелинейность воды и поглощение звука вблизи поверхности вносят воздушные пузырьки, вовлекаемые в толщу воды при обрушении ветровых волн и других возмущений на поверхности океана. Выявлены различные диапазоны волновых параметров, частот накачки, распределения нелинейности и коэффициента поглощения волн накачки, которые позволяют по отдельности определять параметр нелинейности и коэффициент поглощения звука. Проведены экспериментальные исследования параметра акустической нелинейности воды с пузырьками. Метод измерений основан на использовании параметрической генерации звука на различных разностных частотах при бигармоническом излучении высокочастотной накачки. Измерения

нелинейного акустического параметра проводились в различные годы в приповерхностном слое в северо-западной части Тихого океана, в верхнем слое в Индийском океане, а также на шельфе Японского моря. Показано, что теоретические оценки согласуются с экспериментальными результатами при типичных функциях распределения пузырьков по размерам. Ключевые слова: нелинейный акустический параметр, вода с пузырьками.

26.01-01.78 Трансформация временных профилей пространственной структуры ограниченных пучков в средах с модульной нелинейностью. Гусев В.А. Акустический журнал. 2025, 71, № 5S, с. 62. Рус.

Рассмотрено распространение ограниченных акустических пучков в среде с модульной нелинейностью. В этом случае исходная нелинейная задача сводится к совокупности линейных задач для разных временных интервалов. Нелинейные искажения профиля при этом проявляются при проведении сшивки решений линейных задач. Такой подход позволяет описать нелинейно-дифракционные искажения в пучках с различными начальными волновыми профилями и поперечными пространственными формами. Рассмотрены характерные начальные временные профили в виде гармонических волн и импульсных сигналов, N-волны. Рассчитаны поля сфокусированных пучков. Полученные решения позволяют проанализировать поле интенсивного пучка в фокальной области с учетом как дифракционных, так и нелинейных факторов. Предложены подходы к анализу полей интенсивных пространственно-модулированных волн в окрестности фокальных точек и каустик. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова. Ключевые слова: ограниченные пучки, модульная нелинейность, фокусировка, N-волна.

26.01-01.79 Моделирование нелинейных взаимодействий в трехмерном поле двухчастотного параметрического подводного излучателя в неоднородных волноводных системах. Квашенникова А.В., Юлдашев П.В., Есипов И.Б., Хохлова В.А. Акустический журнал. 2025, 71, № 5S, с. 63. Рус.

На основе нелинейно-дифракционного параболического уравнения типа Хохлова—Заболотской—Кузнецова в трехмерной постановке проведены численные эксперименты по моделированию генерации и распространения волны разностной частоты (ВРЧ) в поле подводного двухчастотного параметрического излучателя в виде двумерной антенной решетки в условиях волноводного распространения в неоднородной среде. Исследованы особенности возбуждения морского волновода полем направленного излучения ВРЧ в различных режимах работы параметрического излучателя, определяемых начальной амплитудой давления волн накачки, в том числе при сильном проявлении нелинейности среды. Разработанная авторами ранее спектральная численная модель для свободного одномерного пространства была модифицирована с учетом наличия пространственных неоднородностей скорости звука путем введения дополнительного фазового множителя для каждой спектральной компоненты волны на каждом шаге сетки вдоль оси пучка, а учет волноводного распространения проводился путем изменения граничных условий в операторе дифракции на дне и поверхности волновода. В результате расчетов были получены распределения полей давления волн накачки и генерируемой ВРЧ как для различных регулярных, так и для случайных пространственных распределений скорости звука, характерных для распространения в условиях мелкого моря. Определены оптимальные по мощности режимы излучения бигармонической накачки для повышения дальности распространения и на-

правленности низкочастотного излучения и его мощности, т.е. эффективности параметрической генерации. Ключевые слова: параметрические взаимодействия, волна разностной частоты, уравнение типа Хохлова—Заболотской—Кузнецова, неоднородный мелководный волновод.

26.01-01.80 Учет удлинения образца при определении нелинейных коэффициентов упругости полимеров методом Терстона—Браггера. Мизалев Е.С., Кожийский А.И., Одина Н.И., Коробов А.И., Ширгина Н.В. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 63. Рус.

Одним из способов измерения нелинейных упругих свойств материалов является метод Терстона—Браггера. Поскольку данный метод основан на определении зависимости относительного изменения скорости ультразвуковой волны в образце от приложенной к нему нагрузки, возникает необходимость учета вызванного одноосным сжатием удлинения образца вдоль направления распространения ультразвуковой волны. Особенно важно это для полимеров, удлинение которых достаточно велико в интервале прилагаемых характерных нагрузок. Так, относительное удлинение стального кубика со стороной $2/3$ см при нагрузке 20 кг составит $0/000005$, а полимерного при тех же условиях — порядка $0/0002$, что более чем на два порядка больше. Были разработаны экспериментальная установка и методика измерений для учета удлинения образца, вызванного одноосным сжатием, и произведен расчет коэффициентов упругости третьего порядка образца 3D-напечатанного фотополимера. Было выявлено, что неучтенное изменение длины полимерного образца при проведении эксперимента методом Терстона-Браггера может приводить к погрешности до 20%, что существенно искажает получаемые результаты. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова. Ключевые слова: 3D-печать, нелинейные упругие свойства, метод Терстона—Браггера, эксперимент, фотополимер.

26.01-01.81 Нелинейные волновые явления в узких трубках переменного сечения специального вида с учетом диссипации. Комаровский К.О., Гусев В.А. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 64. Рус.

Рассмотрены явления, возникающие при распространении акустических волн в узких трубках переменного сечения. Задан закон изменения поперечного сечения трубки специального вида. Исследовано прохождение звука через сужение с учетом нелинейных поправок. Полученное уравнение решалось методом возмущений. Построены частотные зависимости коэффициента прохождения волны на второй гармонике по энергии. Показано, что частотная зависимость коэффициента прохождения носит резонансный характер, причем в точках резонанса величина коэффициента прохождения оказывается неограниченной. Это связано с неучетом диссипативных эффектов, играющих определяющую роль при выполнении условия резонанса. Для уточнения поведения системы вблизи резонанса в модель были введены диссипативные члены, описывающие потери энергии, связанные с вязкостью среды. Представлена частотная зависимость коэффициента прохождения нелинейной волны с учетом диссипации, а также выполнено сравнение зависимости с коэффициентом прохождения волны на основной гармонике в том диапазоне, где наблюдается режим туннелирования. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова. Ключевые слова: уравнение Вебстера, коэффициент прохождения, метод возмущений, диссипативные эффекты.

26.01-01.82 Антирезонанс в существенно-нелинейных системах. Смирнов В.В., Ковалева М.А. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 64. Рус.

Явление резонанса является одним из наиболее значимых в теории колебаний и волн. Анализ резонансной кривой для волн, которые рассеиваются атомами и структурами, позволяет исследовать структуру и свойства вещества. Уго Фано в 1935 г. впервые показал, что интерференция волновых функций дискретного и континуальных состояний может приводить к необычной асимметричной форме резонансной кривой. Дальнейшие публикации дали начало большому количеству исследований в различных областях физики. В последние десяти-

летия процессы волновой интерференции интенсивно изучаются в наноразмерной физике, в частности в связи с развитием материалов нового поколения — метаматериалов. Несмотря на то, что оригинальная работа посвящена квантовомеханической задаче, эффекты асимметричного резонанса проявляются и в классических системах. Показано, что двухканальное резонансное рассеяние упругих волн на плоском дефекте в кристалле может приводить к полному отражению даже для волн, длина волны которых существенно больше толщины дефекта. Ранее был рассмотрен эквивалентный классический аналог резонанса Фано для линейных систем. В работе рассматривается аналог резонанса Фано на примере двух связанных осцилляторов с нелинейностью мягкого и жесткого типов. Осциллятор, возбуждаемый внешней силой, связан с континуумным состоянием квантово-механической системы, в то время как ведомый осциллятор соответствует дискретному состоянию. Ключевые слова: фано-резонанс, существенно-нелинейные системы.

26.01-01.83 Вибрационная черная дыра для крутильных волн, распространяющихся по стержню переменного сечения. Миронов М.А. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 70. Рус.

Рассмотрено распространение крутильных волн в стержнях переменного сечения. При линейном сплющивании стержня скорость распространения крутильной волны также уменьшается линейно и на конечной длине стержня обращается в ноль. При этом время распространения до заостренного конца равно бесконечности. Такая замедляющая конструкция в современной терминологии называется вибрационной черной дырой. Получены точные решения уравнения крутильных колебаний заостренного стержня с моментом инерции и моментом кручения в виде степенных функций и соответствующие выражения для входного импеданса со стороны начального сечения. Ключевые слова: крутильная волна, стержень переменного сечения, время распространения.

26.01-01.84 Широкоугольная параболическая модель на основе операторного ряда Фурье в плавнео-неоднородной среде. Юлдашев П.В., Коннова Е.О., Хохлова В.А. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 71. Рус.

Метод параболического уравнения широко используется для численного моделирования акустических полей в различных волновых задачах, в которых распространение волн имеет однонаправленный характер. В настоящее время основной способ построения широкоугольных параболических моделей заключается в применении Падэ аппроксимаций к пропагатору однонаправленного волнового уравнения. При рассмотрении трехмерных задач такой подход связан с известными вычислительными трудностями, которые до конца не преодолены. Недавно был предложен новый метод аппроксимации пропагатора операторным рядом Фурье, который сводит решение широкоугольной задачи к решению нескольких десятков задач, эквивалентных по математической постановке задаче для стандартного или узкоугольного параболического уравнения. Это дает возможность использовать более эффективные численные схемы при решении задач в трехмерной постановке. В настоящей работе исследуются возможности по расширению предложенной модели для описания распространения волн в неоднородных средах. В частности, анализируются поправки, связанные с учетом плавных изменений параметров среды вдоль выделенного направления распространения волн, а также возможность использования нового метода аппроксимации пропагатора для этих случаев. Анализ возникающих ошибок выполнен путем сравнения численных решений для однонаправленных моделей с результатами расчетов полноволновой модели «k-Wave» в тестовой неоднородной среде. Ключевые слова: широкоугольное параболическое уравнение.

26.01-01.85 Асимптотическая оценка трехмерных интегралов с особенностями в применении к задаче о волнах Кельвина. Шанин А.В., Лаптев А.Ю. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 71-72. Рус.

Рассматривается трехмерный интеграл типа Фурье, в экспоненте которого стоит произведение некоторой фазовой функции и большого параметра. Требуется найти асимптотику это-

го интеграла при стремлении большого параметра к бесконечности. В трехмерном случае вклад в асимптотику могут давать такие особые точки, как точки стационарной фазы в пространстве, на сингулярности и на пересечении сингулярностей, точки тройного пересечения сингулярностей, а также конические точки сингулярностей. Для всех этих типов особых точек возможно построить топологические условия существования ненулевых асимптотик и получить старшие члены соответствующих асимптотик. Предлагаемая техника опробована на примере классической задачи о волнах Кельвина на поверхности глубокой жидкости за буксируемым телом. Показывается, что волны за буксируемым телом описываются вкладом от точек стационарной фазы на пересечении сингулярностей, а переходный процесс, вызванный началом движения буксируемого тела, описывается вкладом от точек стационарной фазы на одной из сингулярностей. Также обосновывается, что известный угол Кельвина связан с положением точки перегиба на линии пересечения сингулярностей. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда 25-22-00106, <https://rscf.ru/project/25-22-00106/>. Ключевые слова: многомерный метод стационарной фазы, преобразование Фурье, преобразование Лапласа, волны.

26.01-01.86 Управление динамикой развития кавитационной области в поле фокусирующего излучателя. Дежгунов Н.В., Минчук В.С., Уваров С.В., Наймарк О.Б., Котухов А.В. *Прикладная механика и техническая физика*. 2025. 66, № 4, с. 3-6. Рус.

Исследуется процесс кавитации в импульсном фокусированном ультразвуковом поле. Впервые зарегистрирована аномально длительная (до нескольких минут) задержка возникновения нестационарной кавитации относительно момента включения ультразвука. Предложена методика выбора параметров поля, обеспечивающих возможность управления динамикой развития кавитационной области.

Распространение интенсивных волн, пилообразные и слабые ударные волны

26.01-01.87 Линейная динамика акустической неустойчивости в неравновесном газе: границы устойчивости и области запрещенных частот. Храпов С.С. *Математическая физика и компьютерное моделирование*. 2024. 27, № 4, с. 78-92. Рус.

Рассмотрена динамика малых возмущений в неравновесном колебательно-возбужденном газе. Получены волновое и дисперсионное уравнения, описывающие динамику акустических мод в линейном приближении. Сформулированы критерии для выделения физически корректных решений дисперсионного уравнения и определения границ областей запрещенных частот акустических волн. Эти критерии позволяют исключить из рассмотрения области нефизических («фантомных») решений, в которых фазовая скорость звука может становиться аномально высокой и на определенных частотах обращаться в бесконечность. Подробно изучены дисперсионные свойства неустойчивых звуковых волн, получены оценки инкремента и определены границы устойчивости и зоны запрещенных частот в зависимости от степени неравновесности среды, моделей релаксации, нагрева и охлаждения. Показано, что при определенных значениях степени неравновесности среды и зависимости времени релаксации и функции охлаждения от температуры и плотности звуковые волны в колебательно-возбужденном газе оказываются неустойчивыми. При этом акустический инкремент достигает максимума, когда период звуковых волн τ_S сопоставим со временем релаксации τ , а в высокочастотной области спектра $\tau_S \lesssim \tau$ за счет вязкости и теплопроводности происходит стабилизация акустической неустойчивости.

26.01-01.88 О воздействии слабых ударных волн на течение в пограничном слое пластины при изменении угла стреловидности. Афанасьев Л.В., Ермолаев Ю.Г., Косинов А.Д., Семенов Н.В., Смородский Б.В., Шмаков А.С., Яцкиж А.А. *Теплофиз. и аэромех.* 2025, № 1, с. 55-64. Рус.

Представлены экспериментальные данные по исследованию

воздействия пары слабых ударных волн на течение в пограничном слое стреловидных пластин с начальными углами $\chi=35$ и 40° при числе Маха $M=2$. Возмущение набегающего потока осуществлялось с помощью генератора слабых ударных волн (УВ), выполненного в виде двумерной наклейки на боковой стенке или на поверхности сопла в рабочей части аэродинамической трубы. Для последнего случая проведена теневая визуализация обтекания моделей и определены углы наклона слабых УВ. Измерения термоанемометром постоянного сопротивления позволили впервые зафиксировать эффект воздействия слабой УВ от переднего края наклейки на течение в пограничном слое плоской пластины, имеющей большие углы стреловидности передней кромки. На модели с $\chi=35^\circ$ в окрестностях максимального воздействия пары слабых УВ выполнены измерения характеристик течения при непрерывном изменении угла поворота модели. Результаты измерений позволяют предполагать, что угол стреловидности $\chi=48^\circ$ является критическим углом стреловидности затупленной передней кромки, при котором в пограничном слое не происходит порождения продольных вихрей «сонаправленной или догоняющей» слабой ударной волной. Подтверждены выводы предыдущих исследований, что при увеличении угла стреловидности по передней кромке происходит снижение интенсивности воздействия слабых УВ на течение в пограничном слое, а для угла стреловидности модели 50° имеет место турбулизация течения.

26.01-01.89 К определению волновых характеристик контролируемых возмущений в пограничном слое под воздействием пары слабых ударных волн. Ермолаев Ю.Г., Косинов А.Д., Афанасьев Л.В., Питеримова М.В. *Теплофиз. и аэромех.* 2025, № 4, с. 723-738. Рус.

Представлены экспериментальные результаты по воздействию слабых ударных волн на развитие контролируемых возмущений в сверхзвуковом пограничном слое плоской пластины при числе Маха 2,0, полученные с помощью измерений, выполненных термоанемометром постоянного сопротивления. Двумерная поверхность размером $150 \times 7 \times 0,13$ мм, установленная на боковой стенке рабочей части аэродинамической трубы Т-325 ИТПМ СО РАН, создавала пару слабых ударных волн в набегающем потоке. Контролируемые возмущения вводились в поток высокочастотным тлеющим разрядом в камере внутри модели. Взаимодействие пары слабых ударных волн с передней кромкой пластины формировало стационарный след в пограничном слое, в котором происходило развитие контролируемых пульсаций. В работе изучен слабонелинейный режим эволюции контролируемых возмущений в условиях искаженного следом и однородного пограничных слоев плоской пластины. Выполнен анализ волновых характеристик возмущений. Предложен новый способ оценки дисперсионного соотношения. Проведено сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов. Численные расчеты выполнены по линейной теории устойчивости в условиях однородного пограничного слоя.

26.01-01.90 О постоянной во времени силе реакции волнового поля на границу с заданными условиями. Арабаджи В.В. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 67. Рус.

Предлагается обзор нескольких примеров простых линейных волновых краевых задач, в которых возникает постоянная во времени сила реакции волнового поля на излучающую границу. Обсуждаются сходства и различия проявлений этой силы: (а) для звуковых волн, электромагнитных волн, волн на воде; (б) для различной геометрической размерности волновой задачи 1D и 2D-3D; (в) для режимов максимального рассеяния (отражения) и максимального поглощения падающей волны. Рассматриваются различные комбинации перечисленных выше (а)–(в) характеристик краевых задач. Ключевые слова: краевая задача, сила реакции поля, размерность краевой задачи.

26.01-01.91 Излучение комбинированного объемного разряда перед фронтом дифрагированной ударной волны. Иванова А.А., Мурсенкова И.В. *Журнал технической физики*. 2026. 96, № 2, с. 220-229. Рус.

Представлены результаты экспериментального исследования свечения наносекундного комбинированного объемного разряда в воздухе перед дифрагированной ударной волной при раз-

личных положениях ее фронта в разрядном объеме. При числах Маха 3.0—4.4 зарегистрированы излучение и ток разряда, инициированного при импульсном напряжении 25 кВ. Определено, что в присутствии ударной волны длительность свечения разряда больше, чем в неподвижном воздухе, а временная зависимость интенсивности свечения имеет немонотонный характер с дополнительным максимумом на стадии послесвечения. Проанализированы кинетические процессы в плазменной области протяженностью 7—40 мм, взаимодействующей с ударной волной на стадии послесвечения. Ключевые слова: ударная волна, наносекундный комбинированный объемный разряд, газоразрядная плазма, электронно-оптическая камера, излучение плазмы.

Нелинейная акустика твердых тел

26.01-01.92 Нелинейные продольные и крутильные волны, распространяющиеся в стержнях, деформирование материала которых описывается неогуковским потенциалом. *Ерофеев В.И., Бутыгин Д.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 65. Рус.

Из вариационного принципа Гамильтона–Остроградского получены уравнения нелинейной динамики стержней, деформирование материала которых описывается неогуковским потенциалом. Для продольных волн исследованы: генерация квазигармонической волны удвоенной частоты; формирование пространственно-локализованных волн (солитонов) деформации. Исследованы также различные сценарии попутного и встречного взаимодействия солитонов. При этом особое внимание уделено процессу расщепления уединенных волн, при котором каждый из взаимодействующих солитонов распадается на несколько солитонов и квазигармонических волновых пакетов. Установлено, что квазигармонические крутильные волны могут быть неустойчивыми по отношению к разбиению на отдельные волновые пакеты (модуляционная неустойчивость). Проанализирована зависимость области модуляционной неустойчивости волны от упругих свойств материала стержня. Ключевые слова: нелинейный гиперупругий метаматериал, неогуковский потенциал, стержень, продольная волна, крутильная волна.

Отражение, дифракция, рефракция, рассеяние интенсивных волн

26.01-01.93 Причины возникновения кавитации морской воды, обусловленные работой гидроакустических систем поиска. *Кириллова Е.М., Федотенков А.П. Морской вестник.* 2025, № 4, с. 38-39. Рус.

Одним из важнейших факторов, влияющим на характеристики самоходного малогабаритного подводного аппарата (СМПА), является кавитация окружающей водной среды. Она влияет на качество работы гидроакустической системы (ГАС). Понимание природы и механизма кавитации важно при проектировании и эксплуатации всех современных СМПА.

26.01-01.94 Отражение ударных волн от высокопористых преград с неоднородной структурой. *Миرون С.Г., Поплавская Т.В., Кириловский С.В., Цырюльников И.С. Прикладная механика и техническая физика.* 2025. 66, № 5, с. 105-116. Рус.

Представлены результаты экспериментального и численного исследования взаимодействия ударных волн с высокопористыми газопроницаемыми преградами с однородной и неоднородной пространственной структурой. Эксперименты проведены в ударной трубе в диапазоне чисел Маха ударных волн $M=1,2-1,8$. В экспериментах использованы преграды, состоящие из пакетов сеток с треугольными ячейками и слоев ячеистопористого никеля. Численное моделирование взаимодействия ударных волн с преградами выполнено на основе решения уравнений Навье–Стокса, осредненных по Рейнольдсу, с использованием тороидальной скелетной модели пористого материала. Показано, что минимальное отражение ударных волн достигается при использовании комбинированных преград, состоящих из ряда пакетов сеток с последовательно уменьшающимся размером ячеек, замыкаемого слоем из ячеисто-пористого материала с минимальным размером пор.

Акустические течения и радиационное давление

26.01-01.95 Поправка к статье "Акустические течения в полусферической капле жидкости на вибрирующей подложке" [Акуст. журн. 2025. Т. 71. № 3. С. 347-359]. *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5, с. 754. Рус.

В статье Лебедев-Степанов П.В. "Акустические течения в полусферической капле жидкости на вибрирующей подложке", Акуст. журн. 2025. Т. 71. С. 347-359, допущены опечатки в формуле (П61) и Таблице 1 (верхние 2 строки в левом столбце).

Нелинейные диспергирующие волны, солитоны

26.01-01.96 Ионно-звуковой солитон Сагдеева с захваченными электронами. *Кузнецов С.В. Теплофизика высоких температур.* 2025. 63, № 5, с. 558-566. Рус.

На основе уравнения Власова для описания электронной компоненты исследовано нелинейное движение бесстолкновительной неизотермической плазмы, соответствующее в постановке Сагдеева ионно-звуковому солитону с бальмановским распределением электронов по энергии в потенциальной яме солитона. Найдено, что в кинетическом подходе наряду с движением ионов и потоком захваченных электронов в плазме существует ток пролетных электронов, который обратен по знаку току захваченных электронов и сопоставим с ним по величине. Показано, что ток пролетных электронов обеспечивает баланс перераспределения зарядов в плазме, которая остается квазинейтральной после прохождения солитона.

26.01-01.97 Уединенные волны деформации в цилиндрической оболочке типа Кирхгофа–Лява из материала с комбинированной нелинейностью, содержащей вязкую жидкость. *Могилевич Л.И., Попова Е.В., Евдокимова Е.В., Попов В.С. Труды МАИ.* 2025, № 145, с. <https://trudymai.ru/published.php?ID=186881>. Рус.

Осуществлена постановка задачи гидроупругости для цилиндрической оболочки типа Кирхгофа–Лява, материал которой обладает обобщенным законом Гука, учитывающим его нелинейность в виде комбинации квадратичной функции и степенной функции с показателем $3/2$. Изучен случай бесконечно протяженной оболочки, заполненной вязкой ньютоновской жидкостью постоянной плотности. Проведен асимптотический анализ поставленной краевой задачи математической физики методом двухмасштабных разложений. Рассматривая первое (линейное) приближение по малому параметру задачи установлено, что жидкость, заполняющая оболочку, не влияет на волновой процесс. Профиль фронта волны продольной деформации в оболочке является произвольной функцией, а волны деформации в оболочке распространяются со звуковой скоростью. Рассматривая задачу во втором приближении получено нелинейное эволюционное уравнение, обобщающее уравнение Кортевега–де Вриза–Шамеля (КдВШ), которое позволяет исследовать нелинейные уединенные гидроупругие волны продольной деформации в оболочке. Показано, что данное уравнение в частном случае при рассмотрении материала оболочки несжимаемым, а течение жидкости в оболочке ползущем имеет точное решение в виде солитона. При этом вязкая жидкость, заполняющая оболочку, не оказывает влияние на волновой процесс в ее стенках, а скорость солитонов оказывается выше звуковой. Для исследования общего случая предложена новая разностная схема для перехода к дискретному аналогу обобщенного уравнения КдВШ, которая получена в рамках интегро-интерполяционного подхода, базирующегося на применении техники построения базисов Грёбнера. Проведено численное исследование данного уравнения при задании начальных условий в виде точного частного солитонного решения. Вычислительные эксперименты позволили установить, что скорость уединенных волн продольной деформации в оболочке оказывается ниже звуковой, а первоначально возбуждаемый солитон разрушается с течением времени, если осуществляется учет инерции движения жидкости и материал оболочки сжимаем.

26.01-01.98 Сдвиговые волны в нелинейно-упругой цилиндрической оболочке. Shear waves in a nonlinear elastic cylindrical shell. *Zemlyanukhin A.I., Bochkarev A.V., Artamonov N.A. Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2024. 24, № 4, с. 578-586. Англ.

Методами асимптотического интегрирования проведено моделирование распространения пучка сдвиговых волн вдоль образующей нелинейно-упругой цилиндрической оболочки модели Сандерса—Койтера. Считается, что оболочка изготовлена из материала, характеризующегося кубической зависимостью между интенсивностями напряжений и деформаций, а безразмерные параметры тонкостенности и физической нелинейности являются величинами одного порядка малости. Используется разновидность метода многомасштабных разложений, позволяющая из уравнений линейного приближения определить скорость распространения волны, а в первом существенно нелинейном приближении — получить разрешающее нелинейное квазигиперболическое уравнение для главного члена разложения сдвиговой компоненты смещения. Выведено уравнение представляет собой кубически нелинейную модификацию уравнения Линя—Рейснера—Цзяна, моделирующего нестационарное околосзвуковое течение газа, и может быть преобразовано в модифицированное уравнение Заболотской—Хохлова, используемое для описания узких пучков в акустике. Решение выведенного уравнения отыскивается в виде одной гармоники с медленно меняющейся комплексной амплитудой, поскольку в деформируемых средах с кубической нелинейностью эффект самовоздействия волны существенно преобладает над эффектом генерации высших гармоник. В результате для комплексной амплитуды получено возмущенное нелинейное уравнение Шредингера дефокусирующего типа, для которого отсутствует возможность развития модуляционной неустойчивости. В терминах эллиптической функции Якоби построено точное физически состоятельное решение, периодическое по безразмерной окружной координате.

26.01-01.99 Влияние на солитон изменения коэффициента нелинейности среды. *Чумаков С.О. Нелинейный мир.* 2024. 22, № 2, с. 40-45. Рус.

Постановка проблемы. Работа посвящена задаче распространения уединенных солитонов (электромагнитных волн в виде солитонов) в среде с изменяющимся коэффициентом нелинейности вдоль траектории распространения. Цель. Исследовать поведение уединенного солитона при различных сценариях изменения коэффициента нелинейности среды вдоль траектории распространения. Результаты. Установлено, что при достаточно плавных (адиабатических) изменениях коэффициента нелинейности форма солитона сохраняется - с изменением коэффициента нелинейности происходят изменения ширины и амплитуды солитона при сохранении его энергии. Показано, что при резком изменении коэффициента нелинейности осуществляется частичное разрушение солитона, при этом часть его энергии высвечивается, т.е. рассеивается средой. Практическая значимость. В результате проведенных исследований выявлено, что увеличение коэффициента нелинейности приводит к осязательному росту амплитуды солитона с одновременным уменьшением его ширины.

26.01-01.100 Ионные функции распределения по скоростям и по энергиям, возмущенные ионно-звуковыми солитонами: аналитический расчет для произвольных амплитуд. *Тружачев Ф.М., Васильев М.М., Петров О.Ф. Физика плазмы.* 2025. 51, № 1, с. 85-91. Рус.

С использованием метода псевдопотенциала Сагдеева выполнен расчет функций распределения фоновых ионов, возмущенных ионно-звуковыми солитонами для случая холодных ионов. Анализировались функции распределения по скоростям и по кинетическим энергиям. Получены явные формулы, справедливые для солитонов произвольной амплитуды. Показано, что солитоны формируют в своей окрестности сильно неравновес-

ную плазму. Проведено сравнение результатов с ранее полученными аналитическими расчетами и результатами моделирования.

26.01-01.101 Солитонный распад акустико-гравитационных волн в атмосфере: 2. Численное моделирование. *Кшевещкий С.П., Курдаева Ю.А., Гаврилов Н.М., Куличков С.Н. Акустический журнал.* 2025. 71, № 6, с. 855-865. Рус.

Исследуется процесс распространения и распада длинных слабо-нелинейных акустико-гравитационных волн в верхней атмосфере. Выполнено прямое численное решение гидродинамических уравнений для атмосферного газа с применением модели высокого разрешения. Сравнение результатов этих численных расчетов с результатами анализа системы гидродинамических уравнений на основе выведенного в первой части этой работы уравнения КдВ—Бюргера для атмосферных слоев показало достаточно хорошее соответствие. Предпочтительные высоты, вблизи которых АГВ могут распадаться, примерно соответствуют высотам изменения знака горизонтальной скорости в волне. Параметры мелкомасштабных уединенных вторичных волн-солитонов, образующихся в расчетах по полным гидродинамическим уравнениям, хорошо согласуются с оценками, основанными на анализе уравнения КдВ—Бюргера. Последнее уравнение не описывает распространение вторичных волн с течением времени в другие атмосферные слои, а также колебания, наклоны и деформацию слоистой структуры, создаваемые первичной волной, в силу приближений, использованных при выводе уравнения КдВ—Бюргера.

См. также **26.01-01.33, 26.01-01.52**

Нелинейная акустика структурно неоднородных сред

26.01-01.102 Особенности проявления нелинейных эффектов в ультразвуковых полях фокусирующих кольцевых преобразователей. *Нартов Ф.А., Карзова М.М., Хохлова В.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 66. Рус.

Для многих современных излучателей мощного фокусированного ультразвука медицинского назначения характерна геометрия, близкая к кольцевой. Обычно они представляют собой либо кольцевые фазированные решетки, либо преобразователи, одно или многоэлементные, в виде сферического сегмента с центральным отверстием круглой формы, использующимся для размещения диагностического датчика. В недавней работе, посвященной исследованию нелинейных эффектов в фокусе многоэлементных решеток с центральным отверстием достаточно большого размера, было показано, что проявление нелинейных эффектов в фокусе таких излучателей отличается от хорошо изученных эффектов в полях излучателей в виде сферического сегмента. В работе исследовалась зависимость проявления нелинейных эффектов в фокусе мощных кольцевых фокусирующих излучателей от соотношения между внутренним и внешним размерами их излучающей поверхности для различных углов схождения и волновых размеров внешней апертуры. Проанализированы различия в геометрии фокальной области и амплитуде акустического давления в линейном и нелинейном режимах фокусировки. Показано, что при увеличении площади отверстия размер фокального пятна увеличивается в направлении акустической оси и уменьшается в поперечном направлении как в линейных, так и в нелинейных пучках. В линейных пучках с постоянной мощностью излучателя амплитуда давления в фокусе уменьшается при увеличении площади отверстия. В нелинейных пучках переход к режиму образования развитого разрыва происходит при больших значениях мощности для больших отверстий, при этом амплитуда образующихся в фокусе ударных фронтов также увеличивается. Ключевые слова: медицинский ультразвук, NIFU, нелинейные волны, ударные фронты.

26.01-01.103 Спин-решеточное взаимодействие ядер галлия в высокоомном кристалле GaAs. Рочев А.М., Мижухин В.М., Чарная Е.В., Нефедов Д.Ю. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 95. Рус.

Спин-решеточная релаксация ядер в кристаллах определяется аддитивными вкладами нескольких различных механизмов спин-фононного взаимодействия. В настоящем докладе представлены исследования подавления вклада дефектов в спин-фононную связь двух изотопов галлия ^{69}Ga и ^{71}Ga в высокоомном кристалле GaAs при стационарном магнитном насыщении ядерных спин-систем. Эксперименты проводились на спектрометре ядерного магнитного резонанса (ЯМР) Avance 400 производства Bruker с применением специально разработанной последовательности импульсов. Подавление дефектного вклада во взаимодействие ядерных спинов с колебаниями решетки проявляется в возрастании времени продольной релаксации обоих изотопов галлия. Предполагается, что основными дефектами, ответственными за вклад в спиновую релаксацию, являются центры EL2, содержащие ионы As на позициях галлия. При достаточно высоких температурах такие центры ведут себя как переориентирующиеся упругие диполи и генерируют локальные динамические градиенты электрических полей, взаимодействующих с ядерными квадрупольными моментами. Полученные результаты могут быть использованы для исследования собственных дефектов в реальных кристаллах арсенида галлия с применением промышленных спектрометров ЯМР. Ключевые слова: магнитная квантовая акустика, ядерное спин-фононное взаимодействие, акустическое и магнитное насыщение линии ЯМР, спин-решеточная релаксация, EL2-центры.

26.01-01.104 Акустический нелинейный параметр при генерации волн утечки для обобщенных мод пластин. Путьрев П.Д., Недоспасов И.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 96. Рус.

Проанализированы процессы смешивания акустических волн с помощью нелинейности второго порядка на примере двух идеально волноводных мод, порождающих волну утечки. Эффективность таких процессов характеризуется акустическим нелинейным параметром (АНП), определяемым как линейная скорость роста амплитуды генерируемой волны на начальном этапе ее эволюции. Предлагаются приближенные способы оценки данного параметра для процессов с участием волн утечек. Один из них исходит из стационарного решения уравнения движения и граничных условий для поля смещений, полученных в рамках теории возмущений. Второй основан на расширении резонансного состояния поля смещения, генерируемого в процессе смешивания. Он позволяет выразить нелинейный параметр в виде интеграла по перекрытию, требуя нормализации поля смещения, связанного с волной утечки. Для вытекающих волн с высокой степенью локализации в волноводе, генерируемых в процессе смешивания частот, оба метода дают согласующиеся результаты, что продемонстрировано на примере мод обобщенных пластин. Первый подход был также применен к конечно-элементным расчетам АНП для нелинейных процессов смешивания краевых волн в упругой пластине с жесткими гранями. Ключевые слова: волноводные моды, обобщенная пластина, генерация второй гармоники, акустический нелинейный параметр, метод конечных элементов.

26.01-01.105 Исследование поведения газовых пузырьков в воде под влиянием звуковых колебаний. Кожарин Н.Ю., Павлов Г.И., Накоряков П.В. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 97. Рус.

Пузырьки в жидкости оказывают влияние на распространение звука и изменяют акустические свойства среды. Данное свойство может быть использовано для гашения колебательных процессов, возникающих в технических устройствах. В условиях учебно-исследовательского центра КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань, проведены эксперименты по изучению поведения газовых пузырьков в воде под влиянием звуковых колебаний. Цель исследований — выявить количественные закономерности влияния частоты колебания и объемного содержания газа на дисперсный состав пузырьков в смеси газа и жидкости. Эксперименты проводились на специально сконструированном стенде с проведением фотофиксации. В результате обработки фотоснимков получена характеристика дисперсного состава

пузырьков в жидкости. Выявлены закономерности измененный дисперсного состава пузырьков под влиянием звуковых колебаний. В работе представлено описание экспериментального стенда для изучения влияния звукового давления на пузырьки газа, дано описание методики выполнения экспериментов и краткий анализ полученных результатов. Сделан вывод о перспективах дальнейшего прикладного применения полученных результатов. Ключевые слова: пузырьки газа, дисперсный состав пузырьков, собственная частота колебаний.

См. также **26.01-01.70**

Скорость, дисперсия, дифракция и затухание в газах и в жидкостях

26.01-01.106 Солитонный распад акустико-гравитационных волн в атмосфере: 1. Уравнение КДВ—Бюргерса. Кшевцевский С.П., Курдыева Ю.А., Гаврилов Н.М., Куличков С.Н. Акустический журнал. 2025. 71, № 5, с. 717-730. Рус.

Исследуется процесс распространения и распада длинных низкочастотных нелинейных акустико-гравитационных волн в верхней атмосфере. Рассматривается одна спектральная волновая мода, для которой, с помощью сформулированного варианта вариационного принципа для слоя жидкости, выведено приближенное нелинейное уравнение Кортевега—де Вриза—Бюргерса. Коэффициенты выведенного уравнения зависят от высоты. В работе исследован вопрос о распаде волны на волны-солитоны меньшего масштаба. Выписаны условия распада волн и выписаны формулы для оценки масштабов вторичных волн-солитонов, образующихся при распаде и первичной волны. Показано, что распад волн может происходить только в определенных слоях, определяемых вертикальной структурой волны.

26.01-01.107 Уравнение Тейта в рамках теории флуктуации плотности. Мелентьев В.В. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 93. Рус.

Показано, что уравнение состояния типа Тейта, основанное на теории флуктуации плотности, позволяет точно предсказать плотность различных жидкостей при высоких давлениях. Для этого используются данные об их плотности и изотермической сжимаемости, определенные только при атмосферном давлении. Экспериментальные данные для различных видов жидкостей, приведенные в литературе в зависимости от температуры и давления, были использованы для сравнения с расчетами. Ключевые слова: уравнение Тейта, теории флуктуации, скорость звука, давление, изотермическая сжимаемость, плотность.

См. также **26.01-01.38, 26.01-01.40**

Скорость, дисперсия, дифракция и затухание в жидких кристаллах, суспензиях и эмульсиях, полимерах

26.01-01.108 Экспериментальное исследование распада и затухания ультразвука в суспензиях. Митяев Ч.М., Дамдинов В.Б. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 92-93. Рус.

Свойства реальных жидкостей существенно отличаются от свойств идеальной жидкости из-за присутствия в них различных неоднородностей. В зависимости от размера и физических свойств неоднородностей акустические свойства могут меняться различным образом. Знания о влиянии неоднородностей любых размеров на свойства жидкостей имеют большое значение как для фундаментального понимания процессов, происходящих в природе, так и в различных прикладных задачах. Исследования распространения звука в таких жидкостях (суспензиях, эмульсиях, коллоидных растворах и т. д.), проведенные различными авторами, позволили решить многие вопросы акустики жидких систем, включая создание различных методов акустической спектроскопии. Поэтому исследование основных характеристик звукового поля в неоднородных жидкостях актуально и имеет большое научное значение. Настоящая работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию

температурных, размерных и концентрационных зависимостей поглощения и рассеяния ультразвуковых волн в разбавленных жидких дисперсных системах, таких как суспензии и эмульсии в области малых концентраций. Размеры частиц и длины волн задают три условия поглощения: режим длинных волн (the long wavelength regime), режим средних волн (the intermediate wavelength regime) и режим коротких волн (short wavelength regime). В зависимости от этих условий были исследованы теории поглощения, такие как: модель Урика для твердых частиц, модель Аллегра—Хоули для негазовых частиц и модель сопряженных фаз, ограниченная режимом длинных волн. Составлена частотно-размерно-концентрационная плоскость с зонами тепловых, вязко-инерционных, рассеянных волн, которые образуются при взаимодействии ультразвука с неоднородностями соответствующих размеров. Показано, что при низких частотах и размерах преобладают вязко-инерционные потери, а при высоких частотах потери на рассеяние. Проведен сравнительный анализ применимости данных моделей поглощения и рассеяния ультразвуковых волн в суспензиях и эмульсиях при описании экспериментальных данных затухания. Работа выполнена в рамках государственного задания СФУ (номер FSRZ-2020-0012). Ключевые слова: жидкость, суспензия, эмульсия, акустические свойства, скорость и затухание ультразвука, дисперсная фаза, моделирование поглощения.

26.01-01.109 Общее свойство акустических волн в монокристаллических материалах. *Агейкин Н.А., Анисимкин В.И., Смирнов А.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 94. Рус.*

Известно, что при распространении по осям 2, 4, 6-го порядков и перпендикулярно плоскости зеркальной симметрии продольная и обе поперечные объемные волны имеют нулевые отклонения потоков энергии. В работе путем численных расчетов на конкретных примерах показано, что тем же свойством в кристаллах кубической, гексагональной, тригональной, тетрагональной, орторомбической и моноклинной сингонии обладают поверхности и нормальные волны, причем последние — при произвольной толщине пластины и для мод любого порядка. Иными словами, отклонение потока энергии по 4 указанным направлениям отсутствует одновременно у всех основных типов акустических волн — трех объемных, одной поверхностной и всех нормальных. В кристаллах триклинной сингонии то же свойство не проявляется ввиду отсутствия необходимых элементов симметрии. Оно также отсутствует вдоль осей симметрии 3-го порядка, для которых нарушается идентичность кристалла при его повороте на 180° . Объяснение общего свойства дано в терминах анизотропии скоростей акустических волн, которая для волн всех типов однозначно связана с углами отклонения потоков энергии. Ключевые слова: акустические волны, поток энергии, монокристаллы.

26.01-01.110 Генерация осредненного течения полупогруженной осциллирующей сферой. *Мизёв А.И., Панькова Н.В. Вестник Пермского ун-та. Серия: Физика. 2025, № 3, с. 22-33. Рус.*

Представлены результаты экспериментального исследования структуры осредненного течения, генерируемого полупогруженной в жидкость осциллирующей сферой. Источником осредненного движения в рассматриваемой ситуации являются (1) неоднородный вязкий погранслои на затопленной части сферы, генерирующий осесимметричное течение с ярко выраженной струей от нижнего полюса, и (2) бегущая поверхностная волна, увлекающая приповерхностный слой жидкости в направлении своего распространения. Основное внимание в статье уделено течению, создаваемому волновым механизмом, и изменению его структуры в зависимости от характеристик колебаний сферы и состояния границы раздела, связанного с наличием или отсутствием адсорбированного слоя поверхностно-активного вещества на поверхности. В ходе экспериментов исследовалась конфигурация волны и структура осредненного течения. Основная часть экспериментов проведена с изопропиловым спиртом, что исключало формирование адсорбированного слоя. Обнаружено, что бегущая цилиндрическая волна порождает на поверхности раздела осесимметричное центробежное течение, интенсивность которого увеличивается с ростом амплитуды колебаний. При достижении порогового значения

амплитуды данный тип волны становится неустойчивым, в результате чего на поверхности возникает конфигурация в виде двух спиральных волн, распространяющихся во встречных азимутальных направлениях, частота которых в два раза меньше частоты колебаний сферы. Амплитуда волны, полученной в результате суперпозиции, оказывается промодулированной в азимутальном направлении, в результате чего скорость радиального течения также оказывается периодической функцией азимутальной координаты. Проведена серия качественных экспериментов с водой различной степени очистки для выяснения влияния адсорбированного слоя сурфактанта на структуру осредненного течения. Показано, что наличие сурфактанта приводит либо к полному обездвиживанию поверхности, либо формированию многовихревого течения в зависимости от содержания сурфактанта. В заключение проводится сравнение полученных результатов с данными, полученными в более ранних исследованиях рассматриваемой в статье задачи.

Скорость, дисперсия, рассеяние, дифракция и затухание в твердых телах; упругие константы

26.01-01.111 Количественное равномерное экспоненциальное ускорение средних значений вдоль затухающих волн. Quantitative uniform exponential acceleration of averages along decaying waves. *Tong Zhicheng, Li Yong. Известия Российской академии наук. Серия математическая. 2025. 89, № 6, с. 105-130. Англ.*

In this study, utilizing a specific exponential weighting function, we investigate the uniform exponential convergence of weighted Birkhoff averages along decaying waves and delve into several related variants. A key distinction from traditional scenarios is evident here: despite reduced regularity in observables, our method still maintains exponential convergence. In particular, we develop new techniques that yield very precise rates of exponential convergence, as evidenced by numerical simulations. Furthermore, this innovative approach extends to quantitative analyses involving different weighting functions employed by others, surpassing the limitations inherent in prior research. It also enhances the exponential convergence rates of weighted Birkhoff averages along quasi-periodic orbits via analytic observables. To the best of our knowledge, this is the first result on the uniform exponential acceleration beyond averages along quasi-periodic or almost periodic orbits, particularly from a quantitative perspective.

26.01-01.112 Упругие потери и дисперсия в плотной и пористой сегнетоэлектрической пьезокерамике. *Швецов И.А., Швецова Н.А., Петрова Е.И., Луговая М.А., Константинова М.Г., Колпачева Н.А., Рыбьянец А.Н. Акустический журнал. 2025. 71, № 5, с. 669-677. Рус.*

Представлены результаты сравнительного анализа упругих потерь и дисперсионных характеристик плотной и пористой сегнетоэлектрической пьезокерамики на основе цирконата-титаната свинца с одинаковым химическим составом. Для определения комплексных упругих модулей и их частотных зависимостей использовался метод спектрального анализа пьезорезонансных характеристик, включая основные и высшие резонансы толщинных колебаний дисковых образцов. Образцы пьезокерамики были получены традиционным способом синтеза и спекания, а пористая структура формировалась с применением модифицированного метода выжигания порообразователя. В пористых материалах выявлены участки аномальной упругой дисперсии, связанные с изменением соотношения между длиной волны резонансных колебаний и характерным размером неоднородностей пористой микроструктуры при увеличении частоты.

26.01-01.113 Акустические свойства двуосного кристалла калий титанит арсената KTiOAsO_4 . *Мильков М.Г., Кожийский А.И., Балацкий В.И. Акустический журнал. 2025. 71, № 6, с. 780-788. Рус.*

Исследованы акустические свойства кристалла калий титанит арсената, перспективного для применения в акустооптике. Определены все коэффициенты упругости этого кристалла, а также значения фазовых скоростей акустических волн и величины углов между направлениями фазовой и групповой скорости материала. Акустические параметры кристалла рассчи-

таны на основе данных эксперимента из диаграмм Шефера—Бергмана и из измерений скоростей упругих волн фазовым методом.

26.01-01.114 Локализация источника волны Рэлея на поверхности. *Лебедев А.В., Манаков С.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 5. Рус.

Показана возможность локализации источника волны Рэлея путем анализа ее дисперсии. Для компенсации искажений, вызванных дисперсией, применяются методы обращения волнового фронта или обращения времени. Особенностью представленной работы является использование измеренной дисперсии рэлеевской волны. Эффективность подхода продемонстрирована на примере анализа экспериментальных данных, полученных в реальных условиях. Результаты анализа могут быть использованы в дистанционной диагностике вторичных источников в виде включений в геологической среде. Ключевые слова: метод обращения времени, дисперсия рэлеевской волны.

26.01-01.115 Исследование прямой задачи микросейсмического зондирования. *Жарков Д.А., Жостков Р.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 6-7. Рус.

Реализован аналитический подход к решению прямой задачи микросейсмического зондирования, основанный на теории распространения поверхностных волн в плоскостных средах и в предположении сохранения потока энергии волны, которое, в свою очередь, выполняется при пренебрежимо малом рассеянии. Рассмотрена двумерная постановка с произвольным распределением упругих параметров и предложен путь параметризации такой модели для ее разделения на конечное число плоскостных зон, в каждой из которых аналитически рассчитывается относительная амплитуда поверхностной волны на границе среды. В силу того, что каждая из зон рассматривается независимым образом, такой подход не позволяет напрямую учесть эффект уменьшения разрешающей способности с увеличением длины зондирующей волны. Для решения этой задачи была предложена отдельная процедура постобработки, апробированная на более простой модели двух заглубленных штоков. Показано, что получаемое решение стремится к постоянному виду при увеличении степени параметризации и является устойчивым к малым изменениям параметров системы. Сравнение с численным моделированием показало, что невязка между аналитическими и численными результатами при достаточно большой степени параметризации составляет около 5%. Ключевые слова: поверхностная акустическая волна, волна Рэлея, неоднородная среда, микросейсмическое зондирование.

26.01-01.116 Использование энергетического критерия для контроля корректности решений дифракционных задач. *Ожороков М.В., Скобельцын С.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 68. Рус.

Существенный прикладной потенциал решений дифракционных задач делает важной и актуальной проверку их корректности. В работе с этой целью предложено использовать энергетический критерий, заключающийся в исследовании баланса определенных энергетических характеристик акустических волн. Установлено, что в плоских дифракционных задачах он должен выражать равенство интенсивностей звуковых волн, а в пространственных задачах теории дифракции — усредненных по времени потоков энергии. Показано, что при прохождении звука через границу раздела двух различных жидких сред использование энергетического критерия позволяет обнаружить наличие в полученном решении искусственно введенных неточностей. Выполнение энергетического баланса исследовано в задаче о рассеянии плоской звуковой волны на однородном упругом шаре. При этом в найденные значения искомого коэффициентов случайным образом были внесены ошибки. Для повышения достоверности результатов и обоснованности выводов указанные действия были выполнены 100 раз, причем в каждом случае вычислялись средний поток энергии в рассеянной волне и средний поток энергии взаимодействия падающего и рассеянного поля. Выявлено, что график зависимости относительного расхождения между усредненными за 100 наблюдений значениями энергетических показателей от числового параметра, характеризующего величину введенной ошибки, имеет резонансно-подобный вид. Результаты исследований со-

поставлены с аналогичными данными, полученными ранее при изучении дифракции звука на абсолютно жестком шаре. Определено, что внесение неточностей в значения коэффициентов приводит к видоизменению углового распределения среднего за период потока энергии в рассеянной волне. Ключевые слова: энергетический критерий, дифракция звука, граница раздела жидких сред, однородный упругий шар, искусственное введение неточностей.

26.01-01.117 Методика экспериментального исследования распространения упругих волн в цилиндрических стержнях. *Агафонов А.А., Шараев П.А., Иосифова М.Ю., Кожшайский А.И., Одина Н.И., Коробов А.И. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 68. Рус.

Представлена методика, позволяющая экспериментально исследовать распространение упругих волн в цилиндрических стержнях, закрепленных у основания. С помощью лазерного сканирующего виброметра можно визуализировать колебания поверхности стержней, исследовать амплитудно-частотные характеристики стержня и выделить его моды. Методика опробована на стальном стержне. Выделены три семейства мод образца, представлены экспериментальные дисперсионные кривые. Произведен анализ полей колебательной скорости упругих мод в образце. Приводятся результаты сравнения экспериментальных данных с теоретическими. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова. Ключевые слова: моды упругого цилиндрического стержня, лазерная сканирующая виброметрия, эксперимент.

См. также **26.01-01.44**

Акустика ГГц частот; Бриллюэновское рассеяние

26.01-01.118 Особенности исследования оптически прозрачных материалов с помощью акустического импульса, индуцированного сверхкоротким световым импульсом в пленке оптоакустического преобразователя субмикронной толщины. *Ромашевский С.А. Теплофизика высоких температур.* 2025. 63, № 65, с. 750-765. Рус.

Работа посвящена особенностям исследования оптически прозрачных конденсированных материалов с помощью лазерно-индуцированных гиперзвуковых волн (частотой $>10^9$ Гц) высокого давления (единицы ГПа). Генерация гиперзвука происходит в результате поглощения сверхкороткого ($\sim 10^{-13}$ с) лазерного импульса в оптоакустическом преобразователе — поглощающем материале, нанесенном на исследуемую оптически прозрачную подложку, регистрация распространяющейся гиперзвуковой волны в которой осуществляется за счет мандельштам-бриллюэновского рассеяния во временной области. На примере стеклянной подложки, покрытой пленкой Ni субмикронной толщины, экспериментально исследуется влияние акустического импульса (эха), циркулирующего в пленке Ni, на амплитуду и фазу регистрируемых бриллюэновских осцилляций в подложке. Измерена динамика изменения коэффициента отражения $\Delta R(t)/R_0$ во временном диапазоне до $0.7 \cdot 10^{-9}$ с и временным разрешением до $0.6 \cdot 10^{-13}$ с при возбуждении и зондировании на границе раздела стекло—Ni в максимально широком диапазоне поглощенных плотностей энергий нагревающего импульса от 0.8 до 13.2 мДж/см², инициирующего мгновенный рост температуры электронной подсистемы Ni до нескольких тысяч градусов. Установлено, что амплитуда бриллюэновских осцилляций в подложке растет линейно с ростом вложенной энергии, что предполагает также линейный рост амплитуды давления акустического импульса от 0.5 до 9 ГПа в пленке Ni во всем диапазоне плотностей энергий. Обнаружено, что регистрируемый сигнал бриллюэновских осцилляций является суперпозицией бриллюэновских осцилляций от каждого отдельного акустического импульса (эха), заходящего в подложку из пленки Ni, что в итоге ведет к амплитудно-фазовой модуляции измеряемого сигнала. Предложен подход к восстановлению временной формы оптического отклика от акустического эха из модулированного сигнала бриллюэновских осцилляций в подложке, выполнено сопоставление с прямыми измерениями оптического отклика от акустического эха на гра-

нице раздела воздух—Ni.

26.01-01.119 Антиферромагнитная спинтроника и магноники. *Нижитов С.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 3. Рус.

Представлено описание недавних работ, опубликованных автором с коллегами в открытой печати (отечественных и зарубежных научных журналах) в области терагерцовых спинтроники, спин-фотоники и магноники. Магноники — область электроники, изучающая возбуждение, распространение и детектирование спиновых волн, квантами которых являются магныоны в различных магнитных гетероструктурах. Широкое многообразие линейных и нелинейных спин-волновых явлений, возникающих в таких структурах, а также функционирование в терагерцовом частотном диапазоне привлекли существенный интерес к этой области и обеспечили множество практических приложений в телекоммуникационных системах. Использование магнонного подхода в спинтронике, где перенос спинового момента обычно осуществляется поляризованными электронами проводимости, сформировало новое направление — магнонную спинтронку. Рассмотрены аналитические методы описания физических процессов в магнитных микро и наноструктурах, рассмотрены модели для описания индуцируемых током и оптическими импульсами явлений в нано-гетероструктурах, содержащих магнитные материалы, а также экспериментальные методы исследований процессов в них. Ключевые слова: магнонная спинтроника, спин-волновые явления, спин-фотоника, магнитные нано-гетероструктуры.

Акустическая кавитация, сонолюминесценция

26.01-01.120 Развитие кавитации в щелевом зазоре на крыле с гладкой и текстурированной поверхностью. *Кашигарова М.В., Скрипкин С.Г., Цой М.А., Кравцова А.Ю.* *Теплофиз. и аэромех.* 2025, № 3, с. 437-445. Рус.

Работа посвящена исследованию кавитационного течения в щелевом канале, возникающего при обтекании крыловых профилей NASA 0012 с гладкой и периодической шероховатостью на поверхности. Цель работы заключалась в описании динамики развития кавитационной полости на гладком и шероховатом профилях, а также в определении отличий между ними. Компьютерное моделирование кавитационного течения в щелевом канале, образующегося за препятствием в виде крыла, выполнено в современном CFD-пакете STAR CCM+. Получена визуализация, проведено компьютерное моделирование в широком диапазоне параметров, выполнено сопоставление с данными эксперимента по исследованию кавитирующего течения. Описано влияние периодической шероховатости на особенности появления и развития кавитационной полости на крыле. Показана структура потока в ячейках шероховатости. Полученные результаты работы могут быть использованы для эффективного управления процессом кавитации в щелевых участках различных гидротехнических устройств.

26.01-01.121 Влияние выпрямленной диффузии на резонансные свойства кавитационного пузырька. *Мельников Н.П.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 95. Рус.

Рассматривается динамика одиночного кавитационного пузырька, пульсирующего в газонасыщенной сжимаемой вязкой жидкости под действием однородного акустического поля с частотой $f=22100$ Гц и амплитудой $P_m=0.305 \times 105$ Па в течение $T=1.2 \times 108$ периодов внешнего акустического поля. Теоретические расчеты хорошо совпадают с экспериментальными данными. В процессе роста равновесного радиуса пузырька R_0 , начальный радиус которого $R_{00} = 3.5 \cdot 10^{-5}$ м, порядок пульсаций пузырька меняется и последовательно становится равным $n/m=4/1, 3/1, 2/1, 3/2$ и $1/1$. При переходе пульсаций пузырька от одного порядка к другому форма пульсаций плавно перетекает из одного порядка в другой. Резонансное возбуждение пузырька на резонансах порядка $3/1, 2/1$ и $1/1$ сопровождается резко нестабильным, непериодическим характером пульсаций пузырька. Изменение амплитуды внешнего акустического поля P_m также приводит к изменению порядка пульсаций пузырька. Однако в этом случае происходит резкий переход к другому порядку пульсаций (резкое изменение формы пульсаций) при.

26.01-01.122 Влияние наноразмерных гидрофобных капельных включений на порог кавитации в воде. *Кощоридзе С.И.* *Журнал технической физики.* 2026. 96, № 1, с. 29-34. Рус.

Рассмотрено влияние углеводородных жидких нановключений на порог кавитации в воде с учетом зависимости поверхностного натяжения от радиуса кривизны. Получены аналитические выражения для порога кавитации в объеме воды и внутри нанокнопель. Показано, что эффект Толмена повышает кавитационную прочность воды, а гидрофобные нановключения в несколько раз понижают ее. Ключевые слова: кавитация, наноразмерная капля, длина Толмена, поверхностное натяжение.

См. также **26.01-01.86**

Фононы в кристаллической решетке, квантовая акустика

26.01-01.123 Особенности плавления и кристаллизации в эвтектической системе диметилсульфоксид—вода в условиях наноконфайнмента. *Пирозерский А.Л., Чарная Е.В., Смирнова О.И., Абдуламонов Х.А., Недбай А.И.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 94-95. Рус.

Представлены результаты исследований процессов плавления и кристаллизации чистого диметилсульфоксида и его водных растворов, внедренных в пористые стеклянные матрицы двух типов со средним размером пор порядка 13 и 100 нм. Импульсно-фазовым методом проведены измерения скорости продольных ультразвуковых волн частотой 7 МГц в широком температурном диапазоне. В случае раствора с массовой долей диметилсульфоксида 80%, внедренного в пористое стекло с размером пор 100 нм, на температурной зависимости скорости обнаружены выраженные аномалии, которые можно интерпретировать как твердотельные фазовые переходы. Для чистого диметилсульфоксида методом дифференциальной сканирующей калориметрии получены температурные зависимости теплоемкости и определены теплоты фазовых переходов. Ключевые слова: плавление и кристаллизация в нанопорах, размерные эффекты, диметилсульфоксид, эвтектические системы, ультразвуковой импульсно-фазовый метод.

Плазменная акустика

26.01-01.124 Уединенная ионно-звуковая волна в бесстолкновительной неизотермической плазме. *Кузнецов С.В.* *Теплофизика высоких температур.* 2025. 63, № 4, с. 465-474. Рус.

В одномерном приближении исследовано нелинейное движение бесстолкновительной неизотермической плазмы в виде ионно-звукового солитона с использованием уравнения Власова, учитывающего перемещение солитона при описании электронной компоненты плазмы, и уравнений холодной гидродинамики для описания движения ионов. Показано, что в данной модели наряду с движением ионов и потоком захваченных электронов в направлении распространения ионно-звукового солитона в плазме также существует ток пролетных электронов, который обратен по знаку к току захваченных электронов. Установлено, что во всем диапазоне скоростей ионно-звукового солитона эти токи сопоставимы по величине. Показано, что интегрально за все время нелинейного движения плазмы суммарный ток всех зарядов, проходящих через любое поперечное сечение в плазме, равен нулю, что означает сохранение полной зарядовой нейтральности плазмы после прохождения по ней ионно-звукового солитона.

26.01-01.125 Движение ионов при распространении и столкновениях уединенных ионно-звуковых волн в плазме. *Медведев Ю.В.* *Физика плазмы.* 2025. 51, № 2, с. 181-200. Рус.

Исследуется движение ионов при распространении и столкновениях уединенных ионно-звуковых волн в электрон-ионной плазме и в плазме с отрицательными ионами. В ряде случаев рассчитаны смещения местоположений ионов после прохож-

дения волны и найдены их зависимости от амплитуды волны. Описано обратное воздействие процессов, происходящих в плазме при столкновениях уединенных ионно-звуковых волн, на сами волны. Обсуждены физические механизмы, препятствующие сохранению идентичности таких волн при их взаимных столкновениях. Рассмотрено влияние смещения ионов на образование каустик при столкновениях уединенных ионно-звуковых волн в плазме с отрицательными ионами.

26.01-01.126 Определение условий эффективного возбуждения быстрых магнитозвуковых волн в плазме стелларатора Л-2М в режиме омического нагрева. *Мещеряков А.И., Гришина И.А., Попов М.Е., Недбайлов К.О., Шапкин В.А., Летунов А.А., Логвиненко В.П., Степахин В.Д., Васильков Д.Г., Гусейнзаде Н.Г., Давыдов А.М., Иванов В.А., Терещенко М.А., Харчев Н.К. Физика плазмы. 2025. 51, № 8, с. 823-832. Рус.*

На стеллараторе Л-2М разработаны и созданы система магнитных зондов и комплекс сбора данных для измерения фазовой скорости БМЗ-волн. С помощью этой системы магнитных зондов были определены тороидальные и азимутальные волновые числа БМЗ-волн, возбуждаемых в плазме стелларатора Л-2М в режиме омического нагрева при мощности вводимого в плазму излучения 1 кВт, плотностях плазмы в диапазоне $(0.5-2.0) \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ и магнитных полях в диапазоне 1–1.4 Тл. Определены условия на плотность и величину магнитного поля, в которых в плазме стелларатора Л-2М в режиме омического нагрева БМЗ-волна может распространяться в одном из тороидальных направлений.

См. также **26.01-01.19**, **26.01-01.96**, **26.01-01.100**

Акустическая микрофлюидика

См. **26.01-01.95**

Поверхностные волны в твердых телах и жидкостях

26.01-01.127 Затухание поверхностных акустических волн в системе адсорбированная вода—ниобат лития. *Артемяева К.В., Гулгенов Ч.Ж., Сымаков И.Г., Базарова С.Б. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 93. Рус.*

Представлены результаты исследования зависимости затухания поверхностных акустических волн (ПАВ) в слоистой системе адсорбированная вода—ниобат лития от толщины жидкого слоя. В рамках теоретической модели затухание ПАВ может быть представлено двумя составляющими, имеющими механическую и электрическую природу. Затухание ПАВ в слоистой системе экспериментально исследовано на частотах 43.2 МГц и 129.6 МГц. В отличие от монотонной зависимости, предсказанной на основе свойств объемной воды, экспериментальные данные демонстрируют значительное затухание с выраженным пиком при определенных значениях толщины адсорбционного слоя. Этот пик поглощения объясняется максимумом электрической составляющей затухания ПАВ, когда частота дебаевой релаксации адсорбированной воды совпадает с круговой частотой ПАВ. Ключевые слова: поверхностные акустические волны, диэлектрическая проницаемость, затухание, адсорбированная вода, акустоэлектрический метод.

См. также **26.01-01.114**, **26.01-01.115**

Акустоэлектроника

26.01-01.128 Изменение собственных частот колебаний пьезоэлементами, встроенными в упругие тела. *Каменский А.О. Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2025, № 6, с. 261-276. Рус.*

Рассматривается задача об изменении собственных частот колебаний упругого тела со встроенными пьезоэлектрическими элементами при подаче на них электрического потенциа-

ла. Приводится математическая постановка задачи на основе принципа возможных перемещений для кусочно-однородного электроупругого тела. Конечные деформации представляются суммой линейной и нелинейной частей, которые линеаризуются относительно состояния с малым отклонением от положения начального равновесия, вызванного обратным пьезоэффектом. Приводятся экспериментальные и численные результаты, подтверждающие достоверность численного алгоритма на основе метода конечных элементов. На примере пластины со встроенным пьезоэлементом приводятся численные результаты, демонстрирующие влияние на изменение собственных частот колебаний различных параметров: жесткостных характеристик упругого тела; размеров, местоположения и количества пьезоактуаторов; отношения площадей пьезоэлемента и упругого тела; величины и знака электрического потенциала.

26.01-01.129 Поверхностные акустические волны в структурах слой-подложка произвольной анизотропии. *Даринский А.Н., Косевич Ю.А. Кристаллография. 2025. 70, № 4, с. 626-636. Рус.*

Теоретически исследовано существование поверхностных акустических волн в полубесконечной подложке с нанесенным твердым слоем. Подложка и слой не являются пьезоэлектриками, но могут относиться к любому классу кристаллографической симметрии. Представив дисперсионное уравнение в виде условия на матрицы импедансов подложки и слоя, удается установить, используя свойства импедансов, максимально допустимое число поверхностных волн в зависимости от типа контакта и соотношения между скоростями объемных волн в подложке и материале слоя. Выведено дисперсионное уравнение для симметричной ориентации орторомбической подложки с нанесенным монокристаллическим слоем и показана возможность существования чисто изгибной поверхностной акустической волны в случае очень жесткого поверхностного слоя, например монослоя графена на мягкой полимерной подложке.

26.01-01.130 Особенности распространения SH-волн в биморфной пьезоэлектрической/пьезомагнитной пластине из функционально градиентных материалов. *Белянкова Т.И., Ворович Е.И., Калинин В.В. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2025, № 3, с. 14-29. Рус.*

В квазистатическом приближении исследуются особенности распространения сдвиговых горизонтально поляризованных поверхностных акустических волн (SH-ПАВ) в составной магнитоэлектроупругой пластине из неоднородных пьезоэлектрического и пьезомагнитного слоев. При моделировании неоднородности слоев использована двухкомпонентная модель функционально градиентных материалов с изменением свойств по толщине от параметров основного материала до параметров материала включения. В качестве основных материалов пьезоэлектрического и пьезомагнитного слоев пластины использованы PZT-5Н и CoFe_2O_4 . Включения пьезоэлектрического слоя представляют собой керамику на основе PZT с различными упругими, пьезоэлектрическими и диэлектрическими свойствами. Неоднородность пьезомагнитного слоя моделирует твердый раствор материалов слоев в узкой переходной области у границы раздела. Распространение SH-ПАВ в пластине инициировано действием удаленного источника гармонических колебаний, режим которых полагается установившимся. На границе раздела неоднородных слоев выполнены условия сцепления. На внешних поверхностях, свободно контактирующих с вакуумом, в отсутствие механических напряжений рассмотрены четыре типа электрических и магнитных условий, в зависимости от которых рассмотрены четыре задачи. Решение строится в пространстве образов Фурье путем сведения к системе начально-краевых задач Коши. Получены удобные для численной реализации матричные представления дисперсионных уравнений задач. На примере задачи с электрически закороченными и магнитно-открытыми поверхностными условиями исследовано влияние характера неоднородности пьезоэлектрического и пьезомагнитного слоев пластины на особенности поведения скоростей SH-ПАВ в широком диапазоне частот. Определены особенности влияния локализации различных типов включений пьезоэлектрического слоя на их поведение. Установлены особенности поведения скоростей SH-ПАВ в магнитоэлектроупру-

гой пластине при различных характеристиках неоднородности у границы раздела. Полученные результаты приведены в безразмерных параметрах и могут представлять особый интерес при разработке, проектировании и оптимизации новых материалов для современных микро- и наноразмерных приборов и устройств на SH ПАВ.

26.01-01.131 Акустическое поле и энергетические характеристики щелевой моды в структуре "линия задержки—вакуумный зазор—резонирующая пластина". *Теплых А.А., Зайцев Б.Д., Семёнов А.П., Бородин И.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5, с. 640-647. Рус.

Представлены результаты теоретического исследования структуры, включающей линию задержки на основе пластины ниобата лития Y—X среза с двумя встречно-штыревыми преобразователями для возбуждения и приема акустической волны с поперечно-горизонтальной поляризацией в диапазоне частот 1.5—2.2 МГц. Толщина пластины составляла 0.35 мм. Над линией задержки между преобразователями с некоторым зазором располагалась резонирующая пластина ниобата лития Y—X—140° среза. Моделирование производилось при помощи метода конечных элементов. При подаче ВЧ напряжения на входной преобразователь на частотной зависимости полных потерь наблюдались ярко выраженные пики резонансного поглощения, связанные с возбуждением щелевой акустической моды. Была вычислена скорость щелевой моды и впервые были найдены механические и электрические поля в линии задержки и в резонаторе. Показано, что на резонансных частотах происходит перекачка энергии акустической волны из линии задержки в резонатор. При этом в резонаторе возникает стоячая SH0 волна, которая содержит более 66% акустической энергии системы, что приводит к подавлению бегущей волны на выходе линии задержки. Этот вывод также подтверждается распределением амплитуды поперечно-горизонтальной компоненты механического смещения в линии задержки и в резонаторе на резонансных частотах и между ними.

26.01-01.132 Методы управления потоком энергии акустических волн различных типов. *Кузнецова И.Е. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 3. Рус.

Угол между направлением распространения акустической волны и направлением переноса ее энергии является одной из важнейших характеристик при разработке различных акустоэлектронных устройств. Информация об этом параметре необходима для более эффективного возбуждения и приема акустических волн. Другим аспектом данной проблемы является возможность фокусировки акустической энергии плоских волн в необходимой точке или области звукопровода. В докладе представлено описание недавних работ, опубликованных автором с коллегами, в которых предложены различные методы фокусировки акустических волн различных типов в пластинах. Кроме того, рассмотрены вопросы управления потоками энергии как прямых, так и обратных акустических волн. Известно, что обратные волны характеризуются противоположно направленными фазовой и групповой скоростями. В докладе приводятся новые данные об особенностях распространения обратных акустических волн при изменении электрических граничных условий. Ключевые слова: акустические волны в пластинах, угол переноса энергии, фокусировка акустических волн в пластинах, обратные акустические волны.

26.01-01.133 Исследование окислительных процессов в пленке молибдена с помощью СВЧ акустоэлектронного сенсора на алмазной подложке. *Сорокин Б.П., Яшин Д.В., Асафьев Н.О., Аксененков В.В., Батова Н.И., Кравчук К.С. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 43. Рус.

Целью работы является исследование возможности использования СВЧ резонатора на продольных объемных акустических волнах (ОАВ-резонатор) со структурой Al/Al_{0,72}Sc_{0,28}N/Mo/(100) алмаз/Mo как химического сенсора на примере окисления молибдена. Пленку молибдена толщиной ~1 мкм напыляли на свободную поверхность алмаза в ОАВ-резонаторе методом магнетронного распыления. Полученная структура была подвергнута последовательным отжигам в воздушной среде с постепенным увеличением температуры от

комнатной до 500°C. Длительность каждого отжига составляла 1 час. Изменения морфологии и химического состава пленок Mo изучали методом энергодисперсионной спектроскопии с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM-7600F, фазового состава — методом рентгеновской дифракции с помощью дифрактометра Empyrean (Panalytic) на излучении CuK α . Толщина пленки контролировалась методом атомно-силовой микроскопии при помощи сканирующего зондового микроскопа Ntegr Prim. Используя векторный анализатор цепей Agilent E5071C ENA, в диапазоне 3—18 ГГц были исследованы температурные зависимости сдвига частоты и добротности резонансных обертонов сенсора после каждой стадии отжига. Изменения акустических параметров, полученные СВЧ акустоэлектронным сенсором, обусловлены как ростом кристаллитов Mo, так и образованием таких фаз, как MoO₂ (моноклинная), α и β -фазы MoO₃ (орторомбическая и моноклинная соответственно), наличие которых подтверждено другими методами. Впервые показано, что изменения акустических параметров акустоэлектронного сенсора несут информацию о тонких изменениях в химическом составе пленки Mo при окислении. ОАВ-резонатор как химический сенсор допускает многократное применение благодаря стойкости алмазной подложки. Ключевые слова: образование оксидных фаз молибдена, отжиг, СВЧ акустоэлектронный химический сенсор.

26.01-01.134 Рассеяние поверхностных акустических волн регулярными неоднородностями на поверхности пьезоэлектриков. *Даринский А.Н. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 43-44. Рус.

В докладе обсуждаются результаты расчетов методом конечных элементов коэффициента отражения ПАВ от препятствий (неоднородностей), созданных на поверхности подложек YZ и 128°YX LiNbO₃: одиночных ступенек, выступов, канавок и металлических полосок (электродов). Предполагалось, что препятствия имеют бесконечную протяженность перпендикулярно направлению распространения ПАВ. Коэффициент отражения находился с помощью преобразования Фурье рассеянного поля на поверхности подложки. Найдены зависимости модуля и фазы коэффициента отражения от высоты и ширины препятствий. Обнаружено, что кривые, показывающие осциллирующую зависимость модуля коэффициента от ширины канавки и выступа одинаковой формы, похожи в значительной степени, но смещены относительно друг друга, причем этот сдвиг является достаточно большим, даже если отношение толщины к длине волны невелико. Значения модуля коэффициента отражения для канавки в подложке 128°YX LiNbO₃ хорошо согласуются с известными экспериментальными результатами. Коэффициенты отражения от электрода, находящегося на поверхности подложки, и электрода, утопленного в подложку, тоже сильно отличаются. Рассчитана зависимость коэффициента отражения от ширины бесконечно тонкого электрода от YZ и 128°YX LiNbO₃. Численные данные близки к расчетам по аналитическому выражению, полученному в приближении слабого пьезоэффекта, особенно в том случае, когда ширина меньше 1/3 длины волны. Кроме того, вычисляются коэффициенты отражения от решеток, содержащих конечное число канавок или электродов. Результаты сравниваются с результатами теории связанных мод. Работа выполнена в рамках госзадания НИЦ «Курчатовский институт». Ключевые слова: поверхностные акустические волны, пьезоэлектрический эффект, рассеяние, метод конечных элементов.

26.01-01.135 Влияние свойств жидкостей на характеристики щелевой акустической моды. *Семёнов А.П., Зайцев Б.Д., Теплых А.А., Бородин И.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 44. Рус.

Экспериментально изучены характеристики щелевой акустической моды, возбуждаемой в структуре: «линия задержки—воздушный зазор—резонирующая пьезопластина—жидкость». Линия задержки на основе пластины ниобата лития Y—X—среза толщиной 350 мкм содержала два встречно-штыревых преобразователя (ВШП) с расщепленными электродами, которые располагались на одной стороне пластины на расстоянии 40 мм друг от друга. Эти преобразователи использовались для возбуждения и приема акустической волны с поперечно-горизонтальной поляризацией нулевого порядка (SH0) в ча-

стотном диапазоне 1.5—2.2 МГц. Преобразователи подключались к анализатору цепей E5071C в режиме измерения частотной зависимости коэффициента прохождения S12. Над линией задержки между преобразователями располагалась резонирующая пластина ниобата лития с жидкостным контейнером объемом 2 мл. Воздушный зазор определялся с помощью полосок бронзовой фольги толщиной 8 мкм. В исследовании использовались резонирующие пластины ниобата лития Z-X, Y-X-140° и Y-X+155° кристаллографических срезов с толщиной порядка 500 мкм. Наличие резонирующей пьезоэлектрической пластины ниобата лития приводило к появлению последовательности резонансных пиков на частотной зависимости полных потерь. Были приготовлены образцы проводящей (раствор хлористого натрия в воде) и вязкой (смесь воды и глицерина) жидкостей. Измерены зависимости глубины и частоты каждого резонансного пика от проводимости и вязкости жидкости для всех типов резонирующих пластин. Приводится объяснение полученных результатов и обсуждается возможность их использования при создании жидкостных сенсоров. Ключевые слова: линия задержки, щелевая акустическая мода, акустическая волна с поперечно-горизонтальной поляризацией, жидкостные датчики, вязкость и проводимость жидкостей.

26.01-01.136 Особенности измерения затухания акустической волны в жидкостях акустическим интерферометром в непрерывном и импульсном режимах. Семёнов А.П., Зайцев В.Д., Тепляк А.А., Бородина И.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 44-45. Рус.

Созданы три макета акустического интерферометра на частоты 2.5, 5 и 10 МГц. Каждый интерферометр состоял из двух преобразователей продольной акустической волны, один закреплялся в основании жидкостного контейнера, а второй мог перемещаться с точностью 10 мкм. Контейнер заполнялся исследуемой жидкостью. В непрерывном режиме преобразователи подключались к анализатору цепей, измеряющему коэффициент прохождения S12. Измерялась зависимость S12 от расстояния между преобразователями на фиксированной частоте, которая позволяла найти скорость акустической волны. Указанные зависимости также рассчитывались в представлении жидкости стандартной Т-образной схемой, нагруженной преобразователями. Подбирались значения сопротивления в плоскости преобразователей и затухания акустической волны, при которых теоретические зависимости максимально соответствовали экспериментальным. Были определены значения затухания для глицерина и смеси 90% глицерина и воды на указанных частотах. В импульсном режиме излучающий преобразователь подключался к генератору сигналов, работающему в импульсном режиме, а выходной преобразователь соединялся с цифровым осциллографом. На экране осциллографа наблюдалась последовательность эхо-импульсов, амплитуда которых уменьшалась благодаря затуханию волны и уходу части мощности через преобразователи. Получены выражения для мощности эхо-импульсов, учитывающие коэффициент преобразования преобразователей, затухание акустической волны и коэффициент прохождения волны через преобразователи. Оказалось, что отношения мощностей первых эхо-импульсов при различных расстояниях между преобразователями однозначно определяют затухание акустической волны. Измерено затухание волны для указанных выше жидкостей на трех частотах и проведено сравнение с данными, полученными в непрерывном режиме. Ключевые слова: акустический интерферометр, затухание акустической волны, коэффициент преобразования, коэффициент прохождения S12, эхо-импульсы.

26.01-01.137 Разработка физико-математической модели устройств на поверхностных акустических волнах для системы автоматизированного проектирования. Койгеров А.С. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 45. Рус.

Рассмотрен подход к проектированию устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Среди множества требований к частотно-селективным устройствам на ПАВ (например, полосовым фильтрам) можно выделить не только требования к качеству характеристик — уменьшение вносимого затухания и неравномерности в полосе пропускания и т.д., но и требования по сокращению времени разработки устройства.

Уменьшение времени разработки с одновременным снижением затрат на нее достигается путем предварительного моделирования. Данную задачу можно решить за счет использования системы автоматизированного проектирования с возможностью решения задач оптимизации с большим числом степеней свободы. Показано, что в рамках рассматриваемого подхода необходимо рассмотреть 4 основных этапа при проектировании: аналитический этап, структурный синтез, параметрический синтез и технологический этап (или производство). На этапе параметрического синтеза определяются и оптимизируются параметры выбранной топологии, рассчитываются характеристики (АЧХ, ГВЗ и т. д.). В работе параметрический синтез основан на работе расчетного модуля и модуля оптимизации. В качестве физико-математической модели, описывающей работу устройств на ПАВ, рассмотрена модифицированная модель связанных мод. Апробация работы по созданию реальных полосовых фильтров продемонстрирована на примере проектирования и изготовления резонаторного фильтра с малым уровнем вносимого затухания. Ключевые слова: модель связанных мод, МКЭ, фильтр на ПАВ, оптимизация.

26.01-01.138 Радиационные потери акустических волн Лэмба в пластинах, нагруженных вязкой непроницающей жидкостью. Агейкин Н.А., Анисимкин В.И., Смирнов А.В. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 45-46. Рус.

Исследована зависимость интенсивности излучения волн Лэмба разных порядков n в жидкость в зависимости от соотношения скоростей в пластине V_n и жидкости $V_{ж}$ и от величины нормальной компоненты смещения U_z на поверхности пластины. Показано, что радиационные потери в основном зависят от U_z : эта зависимость прослеживается как для мод нулевого и высших порядков в одной пластине по разным направлениям, так и для мод в пластинах разных материалов и толщин. При малых U_z излучение в жидкость практически отсутствует, и радиационные потери близки к нулю даже для $V_n > V_{ж}$. При больших U_z величина радиационных потерь велика и, например, у волны Лэмба частотой 16.97 МГц в пластине $YZ\text{-LiNbO}_3$ с нормированной на длину волны толщиной 1.75 составляет 4 дБ/мм, что сравнимо с радиационными потерями поверхностных акустических волн в том же материале. Поляризации сильное излучающих мод представляют собой эллипсы, вытянутые вдоль U_z . При этом у большинства мод плоскость эллипса близка сагитальной плоскости, а у части из них — почти перпендикулярна как сагитальной плоскости, так и поверхности пластины. Это — новая модификация волн Лэмба. Ключевые слова: волны Лэмба, радиационные потери.

26.01-01.139 Акустоэлектронные химические датчики на основе мультислойных пленок Ленгмюра—Блоджетт тетра-трет-бутилфталоцианината цинка. Горбачев И.А., Смирнов А.В., Кузнецова И.Е., Колесов В.В., Ягодин А.В., Мартынов А.Г., Горбунова Ю.Г. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 46. Рус.

Изучены сенсорные свойства мультислойных пленок Ленгмюра—Блоджетт на основе тетра-трет-бутилфталоцианината цинка ($t\text{Bu}_4\text{PcZn}$). Для этого на поверхности воды были сформированы ленгмюровские монослои ZnPc и изучены их физико-химические свойства. Методом Ленгмюра—Блоджетт (ЛБ) на поверхности кристалла ниобата лития были сформированы пленки, содержащие 5, 10, 20 и 40 монослоев фталоцианината цинка. Их морфология была изучена методом атомно-силовой микроскопии. Такие же пленки были сформированы на поверхности акустической линии задержки между встречно-штыревыми преобразователями. Линия задержки была создана на основе поверхностной акустической волны с частотой 116 МГц в 128YX LiNbO_3 . Были получены зависимости изменения фазы и амплитуды акустического сигнала такого датчика от концентрации насыщенных паров (0—100%) ацетона, хлороформа, этилового спирта, метилового спирта и изопропилового спирта при комнатной температуре. Показано, что созданные ЛБ пленки на основе фталоцианината цинка обладают чувствительностью к парам хлороформа и ацетона во всем диапазоне исследуемых концентраций. Увеличение толщины пленки приводило к росту величины сенсорного отклика датчика. Таким образом,

был разработан акустоэлектронный сенсор паров хлороформа и ацетона на поверхностных акустических волнах. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (госзадание FFWZ-2025-0001). Ключевые слова: акустоэлектронный сенсор, сенсор паров химических соединений, пленки Ленгмюра-Блоджетт, монослой фталоцианинов.

26.01-01.140 Взаимное преобразование акустических и спиновых колебаний в гибридных магнитофонных резонаторных структурах. *Алексеев С.Г., Ползкова Н.И., Лузанов В.А., Раевский А.О., Никитов С.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 46-47. Рус.

Исследованию особенностей возбуждения линейных и параметрических спиновых волн (СВ) за счет объемных акустических волн (АВ) в композитном многочастотном резонаторе (НВАР) был посвящен ряд наших экспериментальных и теоретических работ последних лет. Резонатор содержит тонкопленочный пьезоэлектрический преобразователь объемных АВ и слой ферромагнетика (ЖИГ) на монокристаллической высокодобротной подложке (ГГГ), представляя собой магнитофонную гибридную структуру для эффективного акустического возбуждения СВ. В работе проведено экспериментальное исследование особенностей акустического возбуждения СВ, описанного выше, и обратного явления: магнитного возбуждения АВ-мод без применения пьезопреобразователя. В последнем случае АВ сопровождаются колебания намагниченности, которые возбуждаются на частоте ферромагнитного резонанса (ФМР) с помощью индукционного переменного магнитного поля, создаваемого СВЧ-антенной. Антенна располагалась непосредственно на пленке ЖИГ, с обратной стороны от пьезопреобразователя. В отличие от предыдущих работ, исследования проводились при разных направлениях постоянного магнитного поля, в том числе наклонном к плоскости структуры. И пьезоэлектрическое, и магнитное возбуждение НВАР демонстрируют перестройку резонансных частот АВ-мод в магнитных полях, соответствующих полям ФМР данного частотного диапазона. Полученные частотно-полевые зависимости коэффициентов отражения электромагнитной волны от структуры для обоих способов возбуждения магнитоупругой динамики соответствуют развитым теоретическим моделям. Работа выполнена в рамках государственного задания «Спинтроника-3». Ключевые слова: акустические волны, спиновые волны, магнитоупругость, НВАР, ЖИГ.

26.01-01.141 Теоретическое исследование щелевых акустических мод в различных структурах на основе линии задержки Y-X ниобата лития. *Теплых А.А., Зайцев Б.Д., Семёнов А.П., Бородина И.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 47. Рус.

Рассматриваются щелевые акустические моды, которые распространяются в структуре из двух пьезопластин, разделенных узким вакуумным зазором. Если верхняя пьезопластина ограничена в продольном направлении, то при измерении частотных зависимостей полных потерь в этой системе могут возникнуть хорошо выраженные резонансные пики затухания. Форма, глубина и расстояние между пиками зависят от взаимной ориентации пьезопластин и расстояния между ними. В статье детально теоретически рассмотрены несколько ситуаций, когда обе пьезопластины изготовлены из ниобата лития, нижняя пьезопластина (линия задержки) имеет ориентацию Y-X и толщину 350 мкм, а верхняя (резонирующая) пластина может иметь различную ориентацию. Акустическая волна возбуждается и принимается при помощи двух одинаковых встречно-штыревых преобразователей, расположенных на верхней стороне линии задержки. Моделирование производилось в диапазоне частот 1.4–2.3 МГц при помощи метода конечных элементов. В результате были рассчитаны частотные зависимости абсолютного значения и фазы полных потерь (параметр S21) и показано, что в такой структуре на данных частотах возникают волны с преимущественно поперечно-горизонтальной поляризацией нулевого порядка. Впервые рассчитаны распределения акустических и электрических полей в такой структуре и продемонстрирован эффект перекачки энергии между пластинами. Ключевые слова: акустическая линия задержки, щелевая мода, пики резонансного поглощения, метод конечных элементов, S-параметры.

26.01-01.142 О возможности превышения коэффициентом электромеханической связи объемных акустических волн в пьезоэлектриках единицы. *Можжев В.Г., Недоспасов И.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 47. Рус.

Существует множество альтернативных определений коэффициента электромеханической связи K для акустических волн в пьезоэлектриках. Некоторые из них в простых случаях и в пределе слабого пьезоэффекта дают совпадающие между собой аналитические выражения с вполне ожидаемым значением «1». При расчете K через отношения энергий в задачах возбуждения либо приема акустических волн его максимальное значение очевидно меньше единицы. Но в отношении максимума K, определенного через относительное изменение скорости объемных акустических волн из-за влияния пьезоэффекта, в литературе нет однозначного мнения. Имеются утверждения как о возможности (Every, 1987), так и о недопустимости (Сиротин, Шаскольская, 1979) значений $K > 1$ при таком определении. В докладе обсуждаются вопросы о том, 1) какая из противоположных точек зрения является правильной и 2) какие из имеющихся в литературе наборов значений материальных констант сверхсильного пьезоэлектрика ниобата калия не нарушают фундаментальных ограничений и описывают появление (из-за пьезоэффекта) вогнутости на сечении поверхности медленности для чисто сдвиговых волн. Ключевые слова: коэффициент электромеханической связи, объемные акустические волны, пьезоэлектрические кристаллы, ниобат калия, поверхность медленности.

26.01-01.143 Исследование фазовых переходов водных растворов электролитов с помощью акустических волн в пьезоэлектрических пластинах. *Шамсутдинова Е.С., Смирнов А.В., Анисимкин В.И., Колесов В.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 48. Рус.

Представлены результаты исследования фазового перехода первого рода водных растворов электролитов с использованием акустоэлектронной линии задержки на волнах в пластинах. Для исследования фазового перехода использовалась только температурная зависимость вносимых потерь в диапазоне температур от -30 до $+5^\circ$, поскольку данный параметр акустической волны слабо зависит от температуры. Представлены зависимости изменения вносимых потерь акустической волны от температуры при ее плавном изменении для водных растворов хлоридов натрия, калия, аммония, кальция, железа (III), никеля (II). Для всех исследованных солей обнаружено, что процесс замерзания начинается при более низкой температуре, чем процесс плавления (гистерезис). Это связано со специфическим взаимодействием акустических волн с исследуемыми объектами. Также представлены зависимости вносимых потерь от времени при быстром изменении температуры. Показано, что величина вносимых потерь акустической волны зависит от состава электролита. Ключевые слова: акустические волны в пластинах, водные растворы электролитов, кристаллизация растворов, фазовые переходы растворов, датчик фазового перехода.

26.01-01.144 Влияние проводимости жидкости на свойства обратных акустических волн в пластине ниобата лития. *Смирнов А.В., Дацук Е.Р., Недоспасов И.А., Кузнецова И.Е.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 48. Рус.

В последние годы активно ведется поиск подходов в создании новых типов сенсорных устройств, основанных на различных физических принципах. Одно из направлений исследований — это использование акустоэлектронных устройств в качестве основы сенсорных элементов. Как правило, используются акустические линии задержки на поверхностных акустических волнах или резонаторы на объемных акустических волнах. Кроме того, перспективными является акустоэлектронные устройства на волнах в пластинах. Для регистрации акустических волн в пластине можно использовать как стандартные электродные структуры с излучающим и приемными встречно-штыревыми преобразователями (ВШП), так и единичный преобразователь. С помощью единичного ВШП можно возбудить в пьезоэлектрической пластине набор акустических волн с различной симметрией и поляризацией, в спектре которых существуют вол-

ны, обладающие ветвями с аномальной дисперсией, так называемые обратные волны. Обратные волны — это волны с противоположно направленной фазовой и групповой скоростями. Свойства обратных волн в пьезоэлектрических пластинах исследованы относительно неполно, поэтому их изучение актуальная проблема как с практической, так и с фундаментальной точки зрения. Одной из задач является исследование влияния жидкости с различными электрофизическими свойствами на свойства обратных волн. Поэтому целью работы было изучение влияния жидкости с различной проводимостью на характеристики обратной ветви волны A1. Для исследования был создан экспериментальный стенд, состоящий из пластины ниобата лития, содержащей ВПП с длиной волны 1,7, 1,8, 1,9 и 2,0 мм с одной стороны пластины и измерительной ячейки для жидкости с другой стороны. Проводимость жидкости варьировалась в диапазоне 0,0016—9 См/м, с переменным шагом. Данные приводятся в сравнении с прямой волной SH1, распространяющейся в той же пластине. Параметр S_{11} в случае обратной волны изменяется с $-0,8$ дБ до $-3,07$ в диапазоне проводимости 0,0034—1,6 См/м, затем увеличивается до $-2,19$ дБ при дальнейшем увеличении проводимости электролита до 9 См/м. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-79-10079. Ключевые слова: обратные акустические волны, волны в пластинах, ниобат лития, аномальная дисперсия, проводимость.

26.01-01.145 Влияние температуры на свойства прямой и обратной акустических волн в пластине ниобата лития. Дацук Е.Р., Смирнов А.В., Кузнецова И.Е. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 49. Рус.

В недавних научных исследованиях была предложена идея создания акустоэлектронных датчиков на обратных акустических волнах в пластинах. Высокое значение производной фазовой скорости обратной волны по частоте способствует увеличению чувствительности датчика. Однако в настоящее время сенсорные свойства обратных акустических волн являются малозначимыми. В работе было исследовано влияние температуры окружающей среды на свойства прямой и обратной акустических волн в пластине Y-X ниобата лития. В теоретической части работы был произведен расчет дисперсионных зависимостей акустических волн в пластине Y-X ниобата лития при различных температурах, найдены температурные коэффициенты скорости и температурные коэффициенты задержки волн. В экспериментальной части работы выбранные прямая и обратная акустические волны были возбуждены в пластине Y-X ниобата лития толщиной 350 мкм при помощи подключенных к векторному анализатору цепей встречно-штыревого преобразователя с длиной волны 1,8 мм. В климатической камере были выполнены измерения амплитудно-частотной характеристики параметра S_{11} ВПП при температуре от -60 до 100°C . Произведено сопоставление теоретических и экспериментальных результатов. Показано, что обратная волна в пластине Y-X ниобата лития более чувствительна к изменению температуры, чем прямая. Ключевые слова: обратные акустические волны, волны в пластинах, влияние температуры, ниобат лития.

26.01-01.146 Разработка широкополосного электроакустического преобразователя на основе перспективных материалов. Ваггин В.К., Зимина К.Д., Дерябин М.С., Касьянов Д.А., Балыкин Д.Е. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 50. Рус.

Пьезополимеры и микроэлектромеханические системы (МЭМС) обладают значительными преимуществами при создании приемных акустических элементов. Пьезополимеры выделяются высокой чувствительностью по напряжению, обусловленной малой емкостью, и относительной простотой изготовления и обработки. Основным достоинством МЭМС является возможность миниатюризации конструкции. Компактные размеры этих преобразователей позволяют разрабатывать антенные решетки различных конфигураций для решения широкого спектра задач. В работе представлены результаты математического моделирования методом конечных элементов для ряда электроакустических преобразователей. Исследованы различные конструкции пьезополимерных преобразователей: круглые и эллиптические однослойные и многослойные элементы, преобразователи с переменной толщиной, а также более сложные

мембранные и биморфные структуры. Рассмотрены нерезонансные преобразователи, характеризующиеся относительной простотой конструкции и равномерной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ). Однако их чувствительность и отношение сигнал/шум могут быть недостаточными для некоторых применений. Также исследованы резонансные преобразователи, где выравнивание АЧХ достигается за счет оптимального расположения низкодобротных резонансов. Для МЭМС-преобразователя проанализирована модель из четырех тензоблоков с двумя мостовыми схемами. По результатам моделирования изготовлены прототипы пленочного и МЭМС-преобразователей. Ключевые слова: пьезополимеры, микроэлектромеханические системы (MEMS), электроакустический преобразователь, конечно-элементное моделирование, антенные решетки.

26.01-01.147 Применение акустооптических ячеек с фазированным пьезопреобразователем в системах генерации оптических частотных гребенок. Купрейчик М.И., Манцевич С.Н., Балацкий В.И. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 58. Рус.

Изучена возможность применения ахроматических вариантов широкоапертурной акустооптической дифракции в ромбическом кристалле $\text{LiNa}_5\text{Mo}_9\text{O}_{30}$ в акустическом поле, создаваемом планарной электронно-управляемой решеткой преобразователей, для генерации оптических частотных гребенок в петле сдвига частоты. Основное внимание уделено режиму низкоселективного взаимодействия света и ультразвука в плоскости оптических осей. Для длин волн лазера накачки, лежащих в S-, Si L-диапазоне, определены срезы кристалла и параметры структуры решетки, оптимальные для реализации такого режима дифракции, а также сформулированы требования к точности выведения звуковой грани акустооптической ячейки. Проведены оценки ширины генерируемой в таких ячейках оптической гребенки и диапазона перестройки ее межмодового интервала. Доказана перспективность применения исследуемого режима акустооптической дифракции в кристалле $\text{LiNa}_5\text{Mo}_9\text{O}_{30}$ для получения перестраиваемых частотных гребенок в расширенном C+L оптическом диапазоне. Ключевые слова: оптические частотные гребенки, акустооптическая дифракция, двuosные кристаллы, электронноуправляемые решетки пьезопреобразователей.

26.01-01.148 Акустооптические устройства на оптически двuosном кристалле литий натрий молибдена. Мильков М.Г., Купрейчик М.И., Хоркин В.С., Хохлов Н.А., Енжикова Е.В. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 58. Рус.

Измерены скорости продольных и сдвиговых упругих волн при их распространении как вдоль главных осей кристалла $\text{LiNa}_5\text{Mo}_9\text{O}_{30}$, так и вне этих направлений.

26.01-01.149 Колебательные процессы в акустооптической системе с гибридной обратной связью. Балацкий В.И., Манцевич С.Н., Купрейчик М.И. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 59. Рус.

Представлены результаты теоретического исследования колебаний в акустооптической системе на основе акустооптической ячейки, работающей в режиме коллинеарного акустооптического взаимодействия с оптоэлектронной обратной связью. Показано, что при достаточной глубине обратной связи в системе может возникнуть импульсный режим работы, при котором в ячейке формируются одиночные акустический и оптический импульсы, неразрывно связанные между собой через взаимную перекачку оптической и акустической энергии. Временной интервал между импульсами равен времени распространения ультразвука по длине акустооптической ячейки, а их длительность определяется коэффициентом обратной связи. По своим характеристикам система похожа на лазер с пассивной синхронизацией мод, но ее поведение определяется нелинейной зависимостью эффективности акустооптической дифракции света от акустической мощности. Численный расчет выполнен для варианта системы с акустооптической ячейкой, выполненной из кристалла молибдата кальция (SMoO_4) с параметрами: длина ячейки в направлении распространения света и ультразвука — 4 см, частота ультразвука — 46 МГц, длина волны оп-

тического излучения — 633 нм, постоянная времени ячейки — 13,7 мкс. Рассмотрены возможности применения исследованной системы в задачах оптической обработки информации. Ключевые слова: акустооптическое взаимодействие, коллинеарная дифракция света, оптоэлектронный генератор, гибридная обратная связь, фазовый синхронизм.

26.01-01.150 Управляемый поворот плоскости поляризации оптического излучения посредством дифракции в гиротропном кристалле. *Котов В.М.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 59. Рус.

Предложен метод управляемого поворота плоскости поляризации линейно-поляризованного излучения, распространяющегося в гиротропном кристалле, примером которого может служить кристалл парателлурита (TeO_2). Метод основан на сложении двух эллиптически поляризованных взаимортогональных волн, поляризации которых близки к круговым, и на изменении фазы между складываемыми волнами, причем фаза управляется частотой акустической волны в процессе акустооптического (АО) взаимодействия. Выбор кристалла TeO_2 обусловлен его уникальными свойствами, в частности аномально низкой скоростью распространения звуковой волны. Это позволяет существенно (до 1000 раз!) понизить порог управляющих мощностей. Эффект сложения двух волн с циркулярными поляризациями приводит к формированию линейно-поляризованной волны, при этом изменение фазы между складываемыми волнами приводит к повороту плоскости поляризации суммарной волны. Анализ показывает, что угол поворота в два раза меньше углового набега фазы между складываемыми волнами. Будут представлены результаты использования режимов двухфононной и трехфононной брэгговских дифракций, в которых изменение фазы нулевого порядка происходит в существенно большей полосе акустических частот. Это позволяет увеличить более чем в 2 раза диапазон угла поворота в сравнении с однофононным режимом дифракции. Интенсивность суммарного излучения, формируемого в нулевом брэгговском порядке, не опускается ниже 70% от интенсивности исходного оптического излучения во всем диапазоне изменения частоты звуковой волны. Ключевые слова: акустооптическое взаимодействие, брэгговский режим, эллиптичность собственных волн, поворот плоскости поляризации.

26.01-01.151 Обнаружение дефектов в ультразвуковых излучателях сдвиговых волн. *Давыдова Е.А., Титов С.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 60. Рус.

Предложен метод выявления дефектов в виде структурных неоднородностей в ультразвуковых излучателях сдвиговых волн акустооптических устройств. Метод основан на трансформации колебаний SH-поляризации в продольные волны на неоднородностях излучателя и их приеме через иммерсионную жидкость сканирующим ультразвуковым датчиком. С помощью акустического микроскопа в режиме приема экспериментально показано, что метод позволяет обнаруживать дефекты в виде расслоений на границе излучателя из ниобата лития и звукопровода из парателлурита, а также трещины в пьезоматериале. Наличие дефектов подтверждено ультразвуковыми изображениями, полученными в штатном режиме работы акустического микроскопа. Предполагается, что разработанный метод может быть использован для дефектоскопии излучателей сдвиговых волн и исследования их излучательной способности. Ключевые слова: сдвиговая волна, ультразвуковой излучатель, дефект, ультразвуковая визуализация.

26.01-01.152 Лазерно-ультразвуковое измерение упругих модулей композитов с наноалмазами. *Карабутов А.А., Саватеева Е.В., Екимов Е.А., Дроздова Е.И.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 60. Рус.

Исследуются механические свойства (модули упругости) малых образцов композитов на основе наноалмазов с включениями различных металлов. Измерение производилось с использованием лазерного возбуждения наносекундных импульсных пучков, что позволило измерять скорости как продольных, так и поперечных волн. Скорости продольных акустических волн изменялись в диапазоне 9–16 км/с. Ключевые слова: термооптическое возбуждение импульсных ультразвуковых пучков, времяпролетный метод измерения скорости ультразвука, моду-

ли упругости.

26.01-01.153 Распространение акустических волн в ориентированных акустооптических кристаллах и новые применения устройств. *Поликарпова Н.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 60-61. Рус.

Исследование посвящено изучению особенностей отражения объемных акустических волн в акустооптическом кристалле при произвольной ориентации падения упругих волн на границу раздела с вакуумом. Анализируются различные типы волн и условия их взаимодействия с материалом. Особое внимание уделено уникальным сценариям отражения, существенно отклоняющимся от общепринятых моделей. Данная работа представляет собой углубленное исследование особенностей распространения и преобразования упругих колебаний в кристаллических структурах с выраженными акустооптическими свойствами. Основное внимание уделено изучению поведения объемных акустических волн при их взаимодействии с границей раздела кристаллическая среда—вакуум в условиях произвольной пространственной ориентации волнового фронта. В рамках исследования проведен комплексный анализ физических процессов, сопровождающих распространение различных типов упругих волн в монокристалле парателлурита, включая продольные и сдвиговые волны. Особый акцент сделан на изучении трансформаций, происходящих при отражении волн от границы раздела. Экспериментальные данные свидетельствуют о наличии нетривиальных эффектов, существенно отличающихся от предсказаний классической теории упругих волн: аномальных изменений фазовых характеристик отраженных волн, нелинейной зависимости коэффициентов отражения от угла падения, возникновения дополнительных волновых мод при определенных ориентациях. Выявленные особенности волновых процессов открывают новые перспективы для разработки современных акустооптических приборов. Полученные результаты имеют большое значение для разработки фундаментальных представлений о взаимодействии акустических и оптических волн в анизотропных средах, а также для решения прикладных задач в области оптической обработки информации и лазерной техники. Ключевые слова: взаимодействие звуковых и световых волн, механические свойства, зависящие от ориентации, отражение, монокристаллический диоксид теллура.

26.01-01.154 Модель брэгговской акустооптической дифракции поверхностных плазмон-поляритонов, распространяющихся вдоль границы металл—диэлектрик. *Никитин П.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 61. Рус.

Предложена модель акустооптической дифракции поверхностных плазмон-поляритонов (ППП), распространяющихся вдоль границы металл—диэлектрик. Для упрощения был использован ряд гипотез: 1) существует только нулевой и первый дифракционные порядки; 2) неоднородность акустического поля приводит к частичному рассеянию ППП в объемное излучение; 3) доля энергии ППП в диэлектрике много больше доли энергии ППП в металле. В рамках указанных ограничений получены выражения для интенсивностей ППП в нулевом и первом дифракционных порядках, а также сделана оценка для доли энергии рассеянного объемного излучения. Показано, что если в пределах глубины проникновения поля ППП в диэлектрик амплитуда звуковой волны постоянна, то рассеяние ППП в объемное излучение не происходит. Ключевые слова: поверхностный плазмон-поляритон, акустооптика, дифракция.

26.01-01.155 Об изменении амплитуды донного сигнала с расстоянием для стандартных прямых преобразователей. *Данилов В.Н.* *Контроль. Диагностика.* 2025. 28, № 7, с. 15-22. Рус.

На основе компьютерного моделирования электроакустического тракта дефектоскопа для стандартных прямых преобразователей с учетом наличия слоя контактной жидкости определены зависимости изменения от расстояния амплитуды донного сигнала, отраженного от плоской поверхности стального образца. Показано, что зависимости донного сигнала стандартных прямых преобразователей лежат выше зависимости, рассчитанной по скалярной (упрощенной) модели на величины, согласующиеся с полученными ранее результатами. Установлено,

что учет наличия слоя контактной жидкости, понижающего рабочую частоту преобразователя, приводит к небольшому изменению значения донного сигнала, качественно не влияющему на ранее сделанные выводы по исследованию зависимости амплитуды донного сигнала от расстояния. Определение дифракционного ослабления донного сигнала в стали для стандартных прямых преобразователей с учетом наличия слоя контактной жидкости может проводиться по ранее рекомендованной к практическому использованию зависимости донного сигнала с допускаемыми вариациями волнового параметра пьезопластины. Ключевые слова: донный сигнал, прямой преобразователь, ближняя зона, дальняя зона, слой контактной жидкости, электроакустический тракт, рабочая частота, волновой параметр пьезопластины.

26.01-01.156 Локация сигналов акустической эмиссии, выполненная на борту самолетов в наземных условиях и в полете. Барсуков В.Е., Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Кабанова С.И., Рамазанов И.С., Черноба В.В. *Контроль. Диагностика.* 2026. 29, № 1, с. 4-15. Рус.

Приведены результаты локации сигналов акустической эмиссии (АЭ) в области установки пьезоантенн на борту одного самолета, расположенного на земле, и на борту другого самолета, осуществляющего летные испытания. В первом самолете отработывалась методика локации сигналов АЭ. Для этого в его композитной зоне располагались две пьезоантенны, каждая из которых состояла из четырех пьезоэлектрических преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ). На конструкцию в области установки каждого датчика пьезоантенны наносилось по пять ударов скрученным проводом. Датчики пьезоантенны последовательно переводились в режим излучения, определялось время прохождения сигнала и средняя скорость звука, распространяющегося между ними. После этого проводилась локация сигналов АЭ. Экспериментальные результаты локации сравнивались с реальными координатами датчиков, работающих в режиме излучения. Погрешности локации рассчитывались за счет перебора значений скорости звука S_x , S_y . При достижении минимальной величины погрешности результаты расчета скоростей распространения акустических сигналов S_x , S_y использовались для практических испытаний при определении дефектов внутри зон, ограниченных пьезоантеннами, расположенными на первом самолете. Во втором самолете устанавливалась пьезоантенна, состоящая из четырех ПАЭ, и четырехканальный блок АЭ-системы. В режиме полета самолета записывались сигналы АЭ от двигателей, при рулении к взлетно-посадочной полосе, взлете, полете, снижении, посадке и рулении к стоянке. Максимальная активность сигналов АЭ зарегистрирована при взлете и посадке самолета. В процессе полета из зоны контроля было зарегистрировано 46 сигналов АЭ, из них амплитуды шести сигналов превышали порог селекции. Ключевые слова: акустическая эмиссия, сигнал, калибровка, композиционный материал, погрешность, самолет, полет.

26.01-01.157 Ярко-темные акустические пули терагерцового диапазона. Сазонов С.В. *Письма в ЖЭТФ.* 2025. 122, № 11, с. 724-731. Рус.

Исследована возможность формирования ярко-темной акустической пули терагерцового диапазона при генерации второй гармоники в парамагнитном кристалле, помещенном во внешнее магнитное поле. Такая пуля представляет собой узкий пучок двухчастотного поля упругой деформации, вдоль которого со скоростью звука распространяется темное пятно наносекундной длительности, где поле деформации отсутствует. Подчеркнута важная роль в формировании пули временной дисперсии, вызванной спин-фононным взаимодействием, и пространственной дисперсии, обусловленной дискретностью кристаллической решетки. Показано, что в условиях отсутствия фазового и группового синхронизмов формирование пули возможно при ограничениях сверху на временную длительность темного пятна и на поперечный размер акустического пучка.

См. также **26.01-01.119**

Акустические явления в метаматериалах

26.01-01.158 Проблемы создания акустических метаматериалов. Томилина Т.М. *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 98. Рус.

Несмотря на впечатляющие достижения в области акустических метаматериалов (АММ), существует ряд значительных проблем в их разработке, крупномасштабном проектировании и коммерческом производстве. Одна из главных технологических задач — точный контроль взаимодействия акустических волн. В отличие от обычных материалов, свойства которых основываются на поглощении или отражении, уникальные возможности АММ определяются точно спроектированными геометрическими структурами на микро и нано уровне. Тщательное расположение единичных ячеек в структурированной решетке может настроить взаимодействие звуковой волны с материалом и привести к таким эффектам, как изгиб звука, маскировка и выборочная фильтрация. Проектирование этих структур требует очень сложных математических моделей и компьютерного моделирования, в то время как реальные условия, их изменение, могут существенно снизить их эффективность. Отдельной проблемой является интегрирование АММ в существующие промышленные объекты. В данном докладе рассматриваются разные типы АММ, их функционал, методы их реализации, а также последние технологические достижения в области акустических метаматериалов, в том числе полученных с помощью 3-D печати. Ключевые слова: акустические метаматериалы, 3-D технологии.

26.01-01.159 Волновой отклик в двумерных акустических метаматериалах с существенной нелинейностью. Сорокин С.А., Смирнов В.В., Ковалёва М.А. *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 99. Рус.

Исследование и разработка метаматериалов является одним из наиболее актуальных направлений в науке о материалах. Метаматериалами называют структуры, свойства которых определяются микроструктурой субволновых масштабов — метаатомами. Выбор параметров метаатомов позволяет добиваться желаемых свойств и эффектов, в том числе недостижимых в классических материалах. Отдельный интерес представляют метаповерхности — тонкие пластины или поверхности с регулярным массивом резонаторов. На данный момент наиболее изучены метаматериалы с линейными характеристиками, однако область нелинейных метаматериалов также активно развивается. Данная работа посвящена акустическим локально-резонансным метаматериалам с существенной нелинейностью. Для реализации нелинейного взаимодействия предлагается структура, представляющая собой тонкую пластину, лежащую на поверхности упругой подложки с регулярными выступами. Такая система допускает как линейные, так и существенно нелинейные взаимодействия между пластиной и подложкой. Линейное приближение справедливо при малых кривизнах точек контакта. Если же кривизна большая, необходимо учитывать нелинейность. При этом в случае амплитуд колебаний, меньших величины предвзрывательного сжатия, взаимодействие описывается потенциалом Герца. При больших амплитудах применяется виброударное приближение. В работе рассмотрены все три вида взаимодействий и проанализировано влияние каждого из них на волновые свойства системы. Работа проведена при поддержке гранта РФФИ No 24-23-00435. Ключевые слова: акустические метаматериалы, локально-резонансные структуры, функции Грина, Рэлеевские волны, спектры.

26.01-01.160 Эволюция волн в существенно нелинейных квази-одномерных цепных моделях. Лыжасов А., Ковалёва М.А. *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 99-100. Рус.

Перенос и локализация энергии в протяженных системах в последние десятилетия привлекли интерес многих исследователей. Это явление в значительной степени связано с проблемой существования и распространения уединенных волн — солитонов и бризеров в нелинейных решетках и цепочках, включая поглотители энергии, механизмы и сенсоры, акустические линзы и волноводы. В работе рассмотрено прохождение и оставка локализованных волн (бризеров) в квази-одномерной модели локально-резонансного метаматериала с существенной нелинейностью при различных параметрах нелинейности. Бы-

ли проведены численные эксперименты, на основании которых построено аналитическое решение. Было получено соотношение между величинами полуширины брызера и его максимальной амплитудой, описывающее наблюдаемый эффект уширения брызера в среде без учета сил трения. В среде с трением рассмотрены закономерности эволюции брызеров, показаны зависимости глубины проникновения энергии в систему при различных параметрах системы. Работа проведена при поддержке гранта РФФИ No 24–23–00435.

26.01-01.161 Особенности дискретного ARMA и ARX—моделирования в исследовании акустических поглотителей метаматериального типа. Карпов И.А. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 100. Рус.

Несмотря на то, что в последние годы параметрические методы анализа динамических систем, основанные на моделях авторегрессии и скользящего среднего (например, ARMA и ARX-модели), получили широкое распространение, практическое применение данных методов сопряжено с рядом особенностей, которые необходимо учитывать для получения корректных результатов. В докладе рассматриваются ключевые аспекты использования параметрических методов для анализа линейных колебательных систем. Особое внимание уделяется выбору порядка модели по разработанному энергетическому критерию [Акуст. журн. 2023. Т. 69. № 6. С. 665–684], определению потерь поглотителей звука, устойчивости идентификации параметров и влиянию шумов на точность результатов. Дополнительно в работе описаны методические приемы, позволяющие улучшить вычислительную эффективность и точность расчетов. В частности, рассматриваются: а) постобработка в виде постфильтрации для уменьшения численного шума собранных записей, б) подбор частоты дискретизации с учетом особенностей исследуемой системы, в) использование эквалайзера частот для оптимизации спектрального анализа. Рассмотренные в работе особенности и методические приемы позволяют расширить область применения ARMA и ARX-моделей и повысить их точность при анализе сложных колебательных систем. Ключевые слова: дискретно-временные случайные процессы, ARMA-модели, ARX-модели, идентификация параметров, измерение коэффициента потерь.

26.01-01.162 Дисперсионные свойства акустического метаматериала, моделируемого цепочкой сферических частиц "масса-в-массе" из сферических частиц. Павлов И.С., Зайцев В.В., Дмитриев С.В., Васильев А.А. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 101. Рус.

Построена одномерная модель акустического метаматериала «масса-в-массе», представляющая собой цепочку сферических частиц двух сортов. Взаимодействия между частицами моделируются упругими пружинами нескольких видов. Пружины двух типов соединяют каждую из больших частиц с ближайшими соседями по цепочке. Аналогичные взаимодействия между большой и маленькой частицами моделируются пружинами третьего и четвертого типов. Каждая частица обладает шестью степенями свободы: тремя трансляционными и тремя ротационными. Получена система из 12 дифференциальных уравнений, описывающая распространение акустических и ротационных волн в данном метаматериале. Проанализированы зависимости коэффициентов этих уравнений от параметров микроструктуры, к которым относятся жесткости пружин четырех типов, период решетки, диаметры частиц первого и второго сорта. Изучены дисперсионные свойства полученной модели. В частности, проанализировано влияние параметров микроструктуры данного метаматериала на критические (минимальную и максимальную) частоты различных волновых мод и на размеры запрещенных зон частот (полос непропускания). Ключевые слова: метаматериал, цепочка частиц «масса-в-массе», микроструктура, акустические и ротационные волны, дисперсионные свойства.

26.01-01.163 Влияние ауксетичности метаматериала, содержащего точечные дефекты, на дисперсию и затухание распространяющейся в нем плоской продольной волны. Колесов Д.А., Ерофеев В.И. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 101. Рус.

Задача о распространении акустической волны в ауксетиче-

ском (т. е. обладающем отрицательным коэффициентом Пуассона) метаматериале рассматривается как самосогласованная, включающая в себя, наряду с динамическими уравнениями деформируемого твердого тела, кинетическое уравнение для плотности дефектов. При постановке задачи предполагается, что основными процессами, определяющими поведение дефектов, являются процессы генерации, рекомбинации и диффузии. Дисперсионное уравнение рассматриваемой системы содержит комплексные коэффициенты, откуда следует, что волна будет не только распространяться в среде, но и затухать по мере распространения. Выявлено влияние типов точечных дефектов (вакансии, межузлия), а также ауксетичности материала на характер дисперсии (нормальная или аномальная) и частотную зависимость затухания волны. Работа выполнялась при поддержке Российского научного фонда (грант № 25-29-00675). Ключевые слова: ауксетический метаматериал, точечные дефекты, акустическая волна, дисперсия, частотно-зависимое затухание.

26.01-01.164 От волноводных изоляторов к акустическим метаматериалам. Миронов М.А., Канев Н.Г. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 102. Рус.

В 1970-х гг. в Акустическом институте были предложены и экспериментально и теоретически исследованы новые вибро-акустические изоляторы. Идея состоит в использовании нескольких одинаковых резонаторов для создания широкополосной изоляции. Ширина полосы набора таких резонаторов оказывается существенно большей ширины полосы одного резонатора. Основные результаты были опубликованы в Трудях Акустического института и в трудах конференций. К сожалению, авторы этого изобретения (соответствующий патент имеется) сочли эти публикации достаточными для популяризации и результаты остались неизвестными для широкого круга акустиков. В настоящее время теоретические и экспериментальные исследования искусственных сред, содержащих резонаторы различных типов, значительно расширились. Исследователи обращают особое внимание на свойства сред, которые не встречаются у обычных упругих материалов, и исследуют их возможности для решения некоторых практических задач. В современной терминологии такого рода конструкции называются метаматериалами. В докладе представлены наиболее интересные результаты современных работ по акустическим метаматериалам.

26.01-01.165 Метод волновой гомогенизации виброакустических метаматериалов как периодических структур. Бобровницкий Ю.И. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 102. Рус.

Под термином «гомогенизация» понимается моделирование, т. е. замена сложных структур более простыми структурами или средами с целью упрощения их анализа. Методы гомогенизации отличаются друг от друга двумя основными характеристиками — типом упрощенной модели и критерием эквивалентности модели и моделируемой структуры. Под типом модели подразумевается какая-либо простая непрерывная среда или дискретная структура, которая обычно, но не всегда, получается путем структурного сглаживания и пространственного усреднения сложных моделируемых структур. А в качестве критерия эквивалентности используется величина, наиболее важная для решаемых практических задач. Из равенства критерия для модели и моделируемой структуры определяются эффективные параметры модели. Излагаемый в докладе метод гомогенизации относится к произвольным периодическим структурам и, в частности, к периодическим виброакустическим метаматериалам. Модель периодической структуры в методе представляет собой также периодическую структуру той же размерности и геометрии, ячейка периодичности которой является простейшей дискретной механической колебательной системой с минимально возможным числом сосредоточенных параметров. В качестве критерия эквивалентности в методе предлагается матрица так называемых групповых импедансов — величина, которая полностью характеризует все волновые свойства. Так что в этом случае периодическая структура и ее модель имеют одинаковое число нормальных волн, обладающих идентичной дисперсией и одинаковыми энергетическими характеристиками. При этом относительная конструктивная простота моде-

ли упрощает анализ сложных периодических систем и метаматериалов, а использование импедансных характеристик делает модель универсальной, т.е. применимой к структурам, изготовленным из любых материалов. Модель также является основой для классификации виброакустических метаматериалов, для их сравнительного анализа, а также для их проектирования. В докладе дано описание метода и приводятся примеры его применения. Ключевые слова: виброакустические метаматериалы, волновые свойства, гомогенизация.

См. также **26.01-01.135, 26.01-01.136, 26.01-01.138, 26.01-01.139, 26.01-01.140, 26.01-01.141, 26.01-01.142, 26.01-01.143, 26.01-01.144, 26.01-01.145, 26.01-01.146**

Магнитоакустический эффект, осцилляции и резонанс

26.01-01.166 Магнитоэлектрический эффект в области магнитоакустического резонанса в режиме толщинно-продольной моды в структуре ИЖГ/ниобат лития/кремний. *Вичурин М.И., Соколов О.В., Марков И.Ю. Физика твердого тела.* 2025. 67, № 11, с. 2223-2226. Рус.

Выполнено теоретическое исследование магнитоэлектрического взаимодействия в слоистой структуре феррит—пьезоэлектрик—подложка в режиме частотного совпадения ферромагнитного резонанса в феррите и одной из мод электромеханического резонанса пьезоэлектрика. Представлены результаты расчета магнитоэлектрического коэффициента в области магнитоакустического резонанса в структуре ИЖГ/ниобат лития/кремний в режиме толщинно-продольной моды. На частоте резонанса 1.7 GHz магнитоэлектрический коэффициент равен 32 V/(cm·Oe). Полученные результаты могут быть использованы при постановке экспериментального исследования. Ключевые слова: магнитоэлектрический эффект, электромеханический резонанс, ферромагнитный резонанс, магнитоакустический резонанс, иттрий-железистый гранат, ниобат лития, слоистая магнитоэлектрическая структура.

См. также **26.01-01.37, 26.01-01.126**

Акустооптические эффекты, оптоакустика, акустическая визуализация, акустическая микроскопия и акустическая голография

26.01-01.167 Оптико-акустические приемники со свободно подвешенной мембраной. *Котляр П.Е. Прикладная физика.* 2025, № 6, с. 75-81. Рус.

Рассмотрена эволюция основного узла оптико-акустического преобразователя-датчика давления. Показан последовательный переход от мембранного датчика давления с жестким закреплением мембраны по контуру, приводящему к неконтролируемому механическим напряжениям и изменениям основных метрологических параметров к кантилеверным датчикам давления, у которых закрепляется лишь одна из сторон, что приводит к увеличению чувствительности более чем в 140 раз. Показано, что путем химического травления на мембранной фольге четырех Г-образных узких сквозных пазов в одном технологическом цикле могут быть сформированы полностью свободный от деформаций центральный мембранный элемент квадратной формы и четырехточечный угловой эластичный подвес в виде четырех узких упругих сенсорных элементов, расположенных вдоль боковых сторон недеформируемого мембранного элемента жестко закрепленных на опорном контуре.

26.01-01.168 Акустическая микроскопия и лазерный ультразвук для изучения упругих свойств сверхтвердых углеродных материалов. *Зинин П.В., Титов С.А., Ломосов А.М., Попов М.Ю., Кутуза И.Б. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 96. Рус.

Интерес к новым сверхтвердым материалам, вызванный появлением новых материалов с повышенной твердостью, привел к серии обширных экспериментальных исследований аморфных и нанокристаллических углеродных фаз и их свойств. Несмот-

ря на большое количество публикаций с рекордно высокими показателями твердости новых материалов, результаты измерения упругих свойств этих материалов показывают скромные значения упругих модулей. Подвергнутый воздействию высокого давления и температур фуллерит C60, метастабильная фаза углерода, претерпевает превращения в более стабильные алмаз и графит через последовательность ранее неизвестных промежуточных фаз. Так, нагрев при $P > 8$ ГПа привел к образованию трехмерных (3-D) полимеризованных аморфных фаз C60 с большим количеством атомных центров sp³ и нанокристаллических композитов (нанокерамики) алмаза и графита, что вызвало самые последние дебаты о существовании сверхтвердых фуллереновых фаз с твердостью выше алмаза. Проведенные исследования показали, что упругие модули образцов, синтезированных при высоких давлениях и температурах из C60, превышают упругие модули большинства сверхтвердых материалов, включая В4С (K=234.9 ГПа, G=197.3 ГПа) изотропного нитрида бора. При этом чем выше давление синтеза, тем выше упругие модули сверхтвердых образцов, полученных из C60. Скорости упругих волн в наноалмазах оказались ниже соответствующих волн сверхтвердых образцов, полученных из C60. Исследование внутренней микроструктуры углеродных нанокластерных композитов методами акустической микроскопии показало наличие множественных внутренних дефектов в синтезированных фуллеритах. Ключевые слова: лазерный ультразвук, акустическая микроскопия, сверхтвердый фуллерит.

26.01-01.169 Экспериментальное исследование акустического эффекта Керкера в лабиринтных резонаторах. *Тиманкова Ю.А., Смагин М.В., Кузьмин М.В., Лутвинов А.И., Богданов А.А., Ли Ю., Петров М.И. Письма в ЖЭТФ.* 2026. 123, № 2, с. 149-155. Рус.

Управление направленностью акустического рассеяния на отдельных акустических метаатомах имеет ключевое значение для достижения направленного распространения звука в пространстве с использованием акустических метаматериалов. В работе представлена экспериментальная реализация акустического аналога эффекта Керкера в двумерном метаатоме с лабиринтной структурой. За счет интерференции между монополярными и дипольными резонансами метаатома с высоким эффективным показателем преломления достигается направленное рассеяние с подавлением прямого или обратного отклика, при выполнении первого и второго условий Керкера соответственно. Экспериментальные измерения рассеянного поля давления в плоскопараллельном волноводе хорошо согласуются с результатами численного моделирования. Полученные результаты подтверждают возможность управления акустическими волнами с помощью эффекта Керкера, и демонстрируют новые возможности для направленного управления звуком.

26.01-01.170 Двухдиапазонный акустооптический вращатель плоскости поляризации оптического излучения. *Котов В.М. Приборы и техника эксперимента.* 2025, № 5, с. 175-179. Рус.

Разработана акустооптическая ячейка для управления углом поворота плоскости поляризации оптического излучения, меняющая направление угла поворота на противоположное в зависимости от диапазона акустических частот. Ячейка, изготовленная из кристалла парателлурита, позволила менять угол поворота плоскости поляризации примерно на 20° в одну сторону и примерно на 25° в другую при изменении частоты звука в первом случае от 20 до 32 МГц, а во втором — от 38 до 50 МГц. Время переключения от одного положения поляризации до любого другого составляет около 1 мкс.

См. также **26.01-01.113, 26.01-01.118**

Термоакустика, высокотемпературная акустика, фотоакустический эффект

26.01-01.171 Термосиловое резонансное нагружение трехслойной пластины. *Старовойтов Э.И., Леоненко Д.В. Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2025. 25, № 3, с. 408-416. Рус.

Исследовано воздействие теплового удара на вынужденные колебания круговой трехслойной пластины, возбужденные резонансной нагрузкой. Пластина несимметричная по толщине, теплоизолированная на нижней поверхности и контуре. Распределение нестационарной температуры по толщине пластины вычисляется по приближенной формуле, полученной в результате решения задачи теплопроводности при усреднении теплофизических свойств материалов трехслойного пакета. В соответствии с гипотезой Неймана на свободные колебания, вызванные тепловым ударом (мгновенным падением теплового потока), накладываются вынужденные колебания от резонансной нагрузки. Используются следующие кинематические гипотезы. Несущие слои предполагаются тонкими, высокопрочными. Для них приняты гипотезы Кирхгофа. В относительно толстом заполнителе выполняется гипотеза Тимошенко, согласно которой нормаль к срединной поверхности в процессе деформации перестает быть нормалью, но остается прямолинейной и несжимаемой. В постановку начально-краевой задачи входят дифференциальные уравнения поперечных колебаний пластины в частных производных, полученные вариационным методом, однородные начальные условия и граничные условия шарнирного опирания контура. Искомые функции выступают прогиб пластины, угол поворота нормали в заполнителе (относительный сдвиг) и радиальное перемещение срединной поверхности заполнителя. Для их получения использована известная система собственных ортонормированных функций. Приведены соответствующие расчетные формулы и результаты числового параметрического анализа зависимости решения от интенсивности и времени воздействия теплового потока, величины силовой нагрузки.

26.01-01.172 Экспериментальная локализация источника теплового акустического излучения корреляционным методом. *Аносов А.А., Грановский Н.В., Ерофеев А.В., Мансфельд А.Д., Беляев Р.В., Казанский А.С.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5, с. 633-639. Рус.

В эксперименте с помощью корреляционного приема была проведена локализация источника теплового акустического излучения. Для этого использовалась приемная решетка из четырех датчиков. В качестве источника использовали охлажденный на 34°С относительно окружающей среды тефлоновый цилиндр диаметром 5,5 мм, который находился на расстоянии 770 мм от датчиков размером 20 мм. Локализация проводилась при двух положениях источника, расстояние между которыми было 10 мм. Средняя частота приема составляла 1,5 МГц. При локализации суммировались пространственные корреляционные функции, рассчитанные для трех пар соседних датчиков и для двух пар датчиков, расположенных "через один". Полученные в эксперименте изображения источника были разнесены на 8,5 мм, размер изображений составил 6 мм для источника в центре и 6,5 мм для сдвинутого источника. Таким образом, полученное при заданной геометрии пространственное разрешение соответствует расчетным данным для решетки датчиков и значительно выше пространственного разрешения при некорреляционном приеме.

26.01-01.173 Локализация теплового излучения источника с использованием методов пассивной акустической термометрии. *Грановский Н.В., Аносов А.А., Ерофеев А.В., Мансфельд А.Д., Беляев Р.В., Казанский А.С.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 89. Рус.

Задача работы заключается в определении местоположения теплового источника с использованием метода корреляционного приема. Для этого предлагается применять корреляционный прием акустического излучения в мегагерцовом диапазоне частот, используя систему из четырех датчиков вместо традиционных двух. В качестве источника теплового акустического сигнала использовался длинный тефлоновый цилиндр диаметром 5,5 мм. Процесс локализации включал суммирование пространственных кросс-корреляционных функций, полученных от всех четырех датчиков. Эксперименты проводились при двух различных положениях вертикального источника — в центре и со смещением на 10 мм. Полученные результаты подтвердили смещение источника на 10 мм относительно расчетных данных. Ключевые слова: кросс-корреляционная функция, тепло-

вое акустическое излучение, восстановление температуры.

26.01-01.174 Исследование возможности контроля локальной гипотермии спортсменов методами пассивной акустической термометрии и инфракрасной термографии. *Ерофеев А.В., Грановский Н.В., Спириин Д.В., Мансфельд А.Д., Аносов А.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 89-90. Рус.

Проведены эксперименты с измерением глубинной и поверхностной температур при процедуре гипотермии спортсменов методами пассивной акустической термометрии (ПАТ) и инфракрасной термографии (ИКТ). Испытуемый помещался в бочку с водой с температурой 10°С. До и сразу после процедуры проводили инфракрасную термометрию (ИКТ). Во время охлаждения в бочке проводили ПАТ четырьмя датчиками. Измеряли левое бедро испытуемого до и после физической нагрузки, правую голень и левую кисть. Наблюдали снижение глубинной температуры с 28 до 20°С и поверхностной с 32 до 16,5°С. Впервые в исследовании с участием спортсменов профессионального уровня были использованы неинвазивные методики измерения глубинной температуры. Данные результаты способствуют расширению фундаментальных знаний о реакции организма на нагрузку высокой интенсивности. Ключевые слова: пассивная акустическая термометрия, акустостратная температура, ИК-термография, гипотермия, работоспособность спортсменов.

См. также **26.01-01.27, 26.01-01.29**

Другие физические эффекты в акустических полях

26.01-01.175 Исследование полного момента радиационной силы закрученного пучка, оказываемого на акустический поглотитель. *Котельникова Л.М., Цысарь С.А., Петров Е.А., Сапожников О.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 92. Рус.

Настоящая работа направлена на исследование фундаментального эффекта, связанного со способностью акустических волн переносить момент импульса. Проявлением этого эффекта является способность волн оказывать закручивающее действие на объекты, таким образом вызывая возникновение крутящего момента. Для создания крутящего момента применяются т. н. «закрученные» («вортесные») волновые пучки, которые переносят не только энергию и импульс, но и момент импульса. Передача момента импульса расположенному в среде объекту позволяет его вращать, что может найти применение для измерения момента инерции малых частиц, отсоединения частиц от подложек, ускорения процесса растворения веществ и т.д. В связи с развитием указанных перспективных направлений актуальной задачей является количественное исследование способности ультразвука оказывать крутящее воздействие на различные объекты (миллиметровые рассеиватели, протяженные поглотители и рассеиватели), что требует развития методов прецизионного измерения крутящего момента для различных типов поглотителей и рассеивателей, а также экспериментальная верификация имеющихся теоретических моделей. В связи с этим настоящая работа посвящена исследованию полного момента радиационной силы закрученного пучка, оказываемого на акустический поглотитель. Исследованы поля закрученных пучков путем измерения акустических голограмм для разных типов излучателей. Произведен численный расчет момента силы на основе результатов измерений голограмм используемых пучков, создана экспериментальная установка и проведены демонстрационные эксперименты по измерению крутящего момента исходя из результатов расчетов. Работа поддержана стипендией Фонда развития теоретической физики и математики "Базис" № 22-2-10-14-1. Ключевые слова: момент силы, крутящий момент, поглотитель, фокусированный пучок.

Химические процессы и фазовые переходы при воздействии ультразвука

26.01-01.176 Гомогенная нуклеация и диффузионный рост наночастицы при ультразвуковом воздей-

ствии. *Резваншвили С.Ш. Физика твердого тела.* 2025. 67, № 9, с. 1712-1717. Рус.

Предложена теоретическая модель гомогенной нуклеации и роста отдельного зародыша (наночастицы) в жидкофазной среде под воздействием ультразвука. Модель сочетает термодинамический подход, позволяющий вычислять работу образования зародыша и его критический радиус в нестационарном поле давления, с кинетическим описанием диффузионного массопереноса и роста индивидуальной наночастицы под действием акустических колебаний. Предложенный подход позволяет установить связь между интенсивностью ультразвукового воздействия и характеристиками формирования наночастицы, а также может служить основой для построения статистического распределения наночастиц по размерам. Ключевые слова: гомогенная нуклеация, ультразвуковая обработка, критический радиус зародыша, диффузионный рост, акустические колебания, наночастица, термодинамическая модель, кинетическая модель.

Источники ультра- и гиперзвука, аппаратура и методы измерений

26.01-01.177 Исследование ступенчатого ультразвукового излучателя. Research of a Stepped Ultrasonic Radiator. *Li N., He X.P., Yuan Y. Акустический журнал.* 2025. 71, № 3, с. pp312-325. Англ.

Sound field and radiation impedance are crucial acoustic performance parameters. Sound field calculation concerns sound propagation from a source and pertains to practical application problems within a specific environment. In contrast, radiation impedance is associated with the matching of the radiating elements with a circuit. Free boundary stepped radiators with high directional properties have significant application potential in the field of high-power gas medium ultrasonics. This study proposes a simulation for the computational estimation of the radiation field and impedance of stepped radiators based on the Rayleigh method. The axial sound pressure and directivity of the rectangular stepped radiator are calculated theoretically. At the same time, the radiation impedance is calculated. The results of the sound field test and radiation impedance calculations verified the validity of the proposed method. Thus, a practical and efficient approach to the analysis of the acoustic performance of arbitrary sound radiator was realized. The proposed method offers valuable insights and addresses a crucial gap in understanding these parameters for diverse radiator configurations.

См. также **26.01-01.53**

Ультразвук в неразрушающем контроле, промышленных технологиях и изделиях

26.01-01.178 Ультразвуковой сварочный аппарат с автономным питанием. *Абраменко Д.С., Генне Д.В., Манягин И.А., Нестеров В.А., Хмельёв В.Н. Южно-Сибирский научный вестник.* 2025, № 4, с. 3-8. Рус.

Ультразвуковая сварка является одним из самых эффективных способов соединения термопластичных полимерных материалов и поэтому находит широкое применение при решении различных производственных задач — начиная от соединения листовых материалов и деталей изделий между собой при производстве детских игрушек до создания трубчатых детекторов элементарных частиц для современных ускорителей частиц, от упаковки жидких и сыпучих материалов до производства полимерных контейнеров для хранения и переработки крови и ее компонентов, в частности для сушки плазмы крови. Данная статья посвящена разработке портативного сварочного аппарата АУС-0,1/36-ОМЛн для использования в полевых условиях (при отсутствии сетевого питания) и исследованию его функциональных возможностей. Уникальность созданного устройства заключается в использовании аккумуляторного питания, которое стало возможным благодаря созданию высокоэффективной пьезоэлектрической колебательной системы, реализации режима контроля и регулирования уровня вводимой ультразвуковой энергии в термопластичный материал и, обеспе-

чивающего работу и управление электронного блока — генератора. За счёт батарейного питания и уменьшенной массы ультразвукового аппарата достигается высокая степень мобильности созданного устройства, что позволяет проводить ультразвуковую сварку не только в полевых условиях, но в труднодоступных местах. Разработанные схемотехнические и конструктивные решения, а также предложенная система контроля и управления обеспечили рациональное расходование энергии аккумулятора, что позволило выполнять до 1000 сварок на одном заряде батареи. Результаты экспериментальных исследований показали высокую надежность оборудования, все выполненные аппаратом сварные соединения соответствовали требованиям прочности. Созданный ультразвуковой сварочный аппарат по техническим характеристикам не уступает широко известным, промышленно используемым стационарным аппаратам типа «Гиминей-Ультра» моделей АУС-0,4/22-ОМЛн и АУС-0,4/44-ОМЛн.

26.01-01.179 Лабораторный комплекс для регистрации межфазной поверхности в гетерогенных системах "жидкость—газ" под действием высокоинтенсивного ультразвука на вязкие жидкости. *Манягин И.А. Южно-Сибирский научный вестник.* 2025, № 4, с. 9-13. Рус.

Рассматривается перспективная технология и метод ультразвуковой обработки вязких жидкостей, граничащих с газовой средой, направленные на решение ключевых технологических задач современных химико-технологических, нефтяных и полимерных производств. Основное внимание уделяется разработке лабораторного комплекса для реализации процессов под действием ультразвуковых колебаний на межфазной границе «жидкость—газ» (например, ультразвуковая дегазация, позволяющая эффективно удалять газы, включения и летучие компоненты из жидких сред), площадь которой является лимитирующим фактором эффективности процессов. Проведение исследований таких процессов с вязкими средами позволит оценить эффективность ультразвуковых технологий по сравнению с традиционными методами вакуумной дегазации или абсорбции и использованием химических добавок, включая анализ снижения выбросов летучих органических соединений и энергопотребления. В статье представлен лабораторный стенд, позволяющий регистрировать возмущения межфазной поверхности барботажных пузырьков в вязких жидкостях в режиме реального времени с помощью высокоскоростной камеры Photron FASTCAM SA-Z. Особое внимание уделяется способам модификации разработанной установки для работы с полимерами, имеющими температуру кристаллизации и плавления выше 80°.

26.01-01.180 Оптимизация датчика концентрации смеси H₂ в природном газе с использованием четырехканального закрытого резонатора. Optimization of a H₂ Blending Concentration Sensor in Natural Gas Utilizing a Four-Branch Closed Resonator. *Luan Bingqing, Shao Changjin, Liu Feiyu, Yang Zhenqing. Акустический журнал.* 2025. 71, № 3, с. pp378-391. Англ.

This paper investigates the feasibility of utilizing a closed four-branch resonant as a concentration sensor during the transportation of natural gas mixed with H₂. Accurate detection of changes in H₂ concentration is critical to ensuring pipeline operational safety, as an increase in H₂ content can lead to delayed fractures or localized cracks within the pipeline. By carefully tuning the parameters of the four-branch closed resonator sensor, this study significantly improves its performance metrics. Specifically, the figure of merit reaches $4.93 \cdot 10^5$, the quality factor is $8.96 \cdot 10^5$, and the concentration detection limit is as low as $1.01 \cdot 10^{-7}$. In addition, the device's simple design and superior performance make it particularly suitable for applications in biosensing, air quality monitoring, and the detection of oxygen and harmful gases.

26.01-01.181 Измерение напряжений в композитах, армированных ортогональными волокнами, в условиях двухосных напряжения на основе метода критически преломленных продольных волн. Stress Measurement of Orthogonal Fiber-Reinforced Composites under Biaxial Stress Conditions Based on Critically Refracted Longitudinal Wave Method. *Yicen Li, Rongguang Li, Ling Sun, Chen Siyun Sun, Zhiqiang Cheng. Акустический журнал.* 2025. 71, № 3, с. pp368-377. Англ.

This study derives the relationship between ultrasonic velocity and stress in orthogonal fiber-reinforced composites under biaxial stress conditions. By calibrating the stress coefficients in two directions, the stress values in the composite plate can be obtained using two time-of-flight measurements. The calibration of stress coefficients requires determining the first critical incident angle. Thus, micromechanics methods were used to calculate the stiffness matrix of the composite material, which was then input into a finite element model to simulate the ultrasonic velocity in the orthogonal composite material. This process determined the incident angle capable of exciting the critical refracted longitudinal wave, namely the first critical incident angle. Rectangular specimens of orthogonal composites were manufactured from glass fiber-reinforced composite plates with bidirectional layup, and uniaxial tensile tests were conducted to verify the accuracy of the first critical incident angle and to calibrate the stress coefficients. It was found that the normal stress in the fiber direction results in a decrease in the ultrasonic velocity in both the fiber and perpendicular directions. To verify the accuracy of ultrasonic stress measurement, uniaxial tensile specimens with a central hexagonal area under biaxial stress conditions and standard biaxial tensile specimens were specially designed. The experimental results for both specimens showed that the ultrasonic stress measurement results were in good agreement with the stress measured using strain gauges, confirming the accuracy and practicality of the ultrasonic stress measurement method.

26.01-01.182 Применение магнитострикционных и пьезоэлектрических преобразователей в ультразвуковых технологических системах. *Вьюгинова А.А., Новик А.А., Вьюгинов С.Н., Новик А.А., Лбов А.А., Новик А.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 77. Рус.

Ультразвуковые технологии — обширная область возможностей для различных областей промышленности, они позволяют решать задачи высокоэффективных раскроя и сварки термопластичных материалов (пластмасс, нетканых материалов), резки пищевых и непищевых продуктов, сварки металлов (проводов, шин, контактов, фольги), пайки и лужения металлов и неметаллов (керамики, стекла), просеивания порошков, обработки жидкостей для реализации ультразвуковой экстракции, лизиса, диспергирования, эмульгирования, гомогенизации, упрочняюще-чистовой обработки поверхности металлов (уменьшение шероховатости и повышение твердости), снятия остаточных напряжений в сварных конструкциях, обработки расплавов металлов и др. Основой ультразвуковых систем для реализации вышеуказанных технологий является электроакустический преобразователь, при этом в технологических ультразвуковых системах применяются как пьезоэлектрические преобразователи, так и магнитострикционные. В работе исследуются опыт, возможности и преимущества применения преобразователей каждого типа для различных технологий и требований производственных процессов. Ключевые слова: электроакустический преобразователь, пьезоэлектрический преобразователь, магнитострикционный преобразователь, ультразвуковая технология, мощный ультразвук.

26.01-01.183 Об определении скорости и затухания ультразвука в алюмоматричных композитах. *Курашкин К.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 79. Рус.

Проводятся ультразвуковые исследования дисперсно-упрочненных алюмоматричных композитов с целью разработки способа ультразвукового контроля их структуры и свойств. Рассматривается проблема определения скорости распространения и затухания ультразвуковых продольных и сдвиговых волн в алюмоматричных композиционных материалах с различной пористостью. Обсуждается выбор оптимальной частоты (длины волны) ультразвука для проведения исследований. Анализируется влияние размера испытательных образцов, концентрации и размера частиц наполнителя на результаты определения скорости распространения и затухания ультразвука на разных частотах. Обсуждаются зависимости скорости распространения и затухания ультразвуковых волн от плотности материала. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00922, <https://rscf.ru/project/25-29-00922/>, регистрационный номер НИОКТР 125021702350-8. Ключевые слова: ультразвуковые волны, частота и длина волны, скорость и затухание ультразвука, алюмоматричный композиционный материал.

26.01-01.184 Ультразвуковая характеристика губчатых биокompозитов. *Петронюк Ю.С., Храмцова Е.А., Богаченков А.Н., Ужакова Э.А., Антипова К.Г., Васильева С.Г., Григорьев Т.Е.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 82. Рус.

Импульсная акустическая микроскопия является эффективным неразрушающим методом. В работе показаны чувствительность и особенности применения метода сканирующей импульсной акустической микроскопии для интактного исследования объемной микроструктуры и количественной характеристики пористых губчатых биокompозитов. На примере композитных образцов из хитозана показано, что наличие функциональных добавок в виде растительного клеточно-структурированного материала и иммобилизованных клеток отражается на акустических параметрах композита. Распространение сфокусированного ультразвукового импульса в объеме набухшей в жидкости губки сопровождается рассеянием на изотропно ориентированных стенках толщиной менее длины волны. Показано, что степень набухания и деградации губки, ее механические характеристики и состав биокompозита можно анализировать по изменению скорости и затухания ультразвука в образцах, а также по изменениям в спектре регистрируемого акустического сигнала. В экспериментах использовался ультразвук в виде коротких импульсов длительностью 30 нс, регистрируемый в диапазоне частот 10–70 МГц. В исследовании дополнительно применялись электронная микроскопия и механические тесты. Показано, что акустические исследования актуальны для наблюдения динамики развития биообъектов *in vivo*, в том числе благодаря простой подготовке образцов и наличию ультразвуковой иммерсии, естественных для образцов условий. Ключевые слова: акустическая микроскопия, ультразвуковые измерения, композиты, хитозан.

Акустика океана, гидроакустика

26.01-01.185 Итерационное определение акустических параметров водоема по данным измерения полей некогерентных источников. *Дмитриев К.В.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 12. Рус.

Акустическая томография представляет собой метод дистанционного определения параметров акватории. Для этого акустическое поле измеряется набором приемников, которые располагаются, как правило, на ее границах. В активном режиме наряду с приемниками измерительная система содержит источник звука. На практике такие системы оказываются достаточно сложными и дорогими, поэтому в последнее время получили развитие методы пассивной томографии. Они основаны на обработке уже присутствующего в акватории акустического поля, созданного различными случайными источниками естественно-

го и антропогенного происхождения. В методе шумовой интерферометрии анализируются корреляционные функции сигналов для всех пар приемников. Это позволяет определить минимальную часть соответствующих функций Грина, что служит исходными данными для решения обратной задачи рассеяния. Однако данный метод накладывает ограничения на наличие поглощения и требует изотропии акустического поля в среде. В настоящей работе рассматривается более общий случай, когда акустическое поле анизотропно, но для части его источников известна их функция когерентности. Это позволяет записать уравнение типа Липпмана—Швингера для функции когерентности акустического поля. Оно может быть линеаризовано и решаться итерационно путем последовательного уточнения функций Грина, функций когерентности поля в неоднородной среде и ее акустических характеристик. Моделирование пока-

зывает хорошее качество восстановления неоднородностей малой и средней силы и устойчивость метода к случайным шумам во входных данных.

26.01-01.186 Об одном способе повышения эффективности обнаружения подводных объектов средствами гидролокации. *Драченко В.Н., Кузнецов Г.Н., Мишнюк А.Н. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 14. Рус.*

В морском волноводе эхо-сигналы, отраженные от обнаруживаемой цели, приходят на приемную антенну в виде лучей, параметры которых определяются акустико-гидрологическими условиями распространения и свойствами отражателя. Оптимальный алгоритм обнаружения такого эхо-сигнала соответствует обработке, согласованной с параметрами моделей излучаемого сигнала, волновода и отражателя, и учитывающей корреляционные свойства помехи. Причем эти данные необходимы в реальном времени, что практически невозможно при непрерывном изменении условий приема сигналов. В таких обстоятельствах представляется полезным использовать квазисогласованные алгоритмы обработки, частично учитывающие модели сигнала и отражателя. Такие "загрубленные" алгоритмы бывают более устойчивыми к изменению характеристик эхо-сигналов и помех и не требуют детального знания передаточной функции волновода в точке приема. В докладе исследуется метод повышения помехоустойчивости обнаружения, основанный на использовании априорной информации о вероятном временном разнесении совокупности эхо-сигналов. Данная информация позволяет объединить сигналы, пришедшие по разным лучам, увеличить суммарную мощность эхо-сигнала и повысить помехоустойчивость. Согласно алгоритму, обнаружение цели производится в два этапа: сначала при пониженном значении порога выполняется обнаружение отдельных лучей, а затем, после сложения мощностей обнаруженных лучей, повышается порог, подавляются ложные тревоги и принимается окончательное решение об обнаружении цели. Эффективность предложенного метода подтверждается результатами компьютерного моделирования и экспериментальными данными, полученными при анализе эхо-сигналов от уголкового отражателя и движущегося АНПА. Ключевые слова: гидролокация, эхо-сигналы, лучевая структура, бликовая структура, накопление мощности эхо-сигналов, увеличение вероятности правильного обнаружения.

26.01-01.187 Особенности флуктуаций средней интенсивности звука в присутствии движущихся солитонов внутренних волн в эксперименте ASIAEX. *Григорьев В.А., Луньков А.А., Шерменева М.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 19. Рус.*

Рассматривается один из эпизодов эксперимента ASIAEX 2001 в Южно-Китайском море, в котором вдоль двух стационарных акустических трасс длиной 32 и 19 км двигались интенсивные внутренние волны с ярко выраженным крупным солитоном, и наблюдались связанные с этим флуктуации средней по глубине интенсивности звука частотой 220–330 Гц. Батиметрия трасс существенно различалась. Первая трасса характеризовалась монотонным изменением глубины от 350 до 120 м. Вторая трасса имела особенность в виде пологой впадины глубиной 30 м, за пределами которой глубина моря оставалась относительно постоянной (125 м). Проведенный анализ, включающий моделирование звукового поля, выполненное на основе модовой теории и параболического уравнения, показал, что физические причины флуктуаций средней интенсивности и их характеристики существенно зависят от батиметрии трасс. Сравнение результатов моделирования и эксперимента позволило определить ключевые параметры волновода. На первой трассе определена скорость звука в дне по спектрам флуктуаций. На второй трассе определены потери в дне по линейному наклону кривой флуктуаций. Полученные значения параметров согласуются с данными, приведенными в литературе и измеренными другими методами. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-72-10121, <https://rscf.ru/project/22-72-10121/>. Ключевые слова: ASIAEX, солитоны внутренних волн, флуктуации средней интенсивности, определение параметров дна.

Звук в глубоком море, подводный звуковой канал

26.01-01.188 Исследование особенностей глубоководного приема импульсных широкополосных сигналов при излучении из протяженного шельфа в Японском море. *Моргунов Ю.Н., Буренин А.В., Голов А.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5, с. 678-684. Рус.*

Обсуждаются теоретические и экспериментальные результаты исследований распространения импульсных псевдослучайных сигналов в Японском море на квазистационарной акустической трассе протяженностью до 144 км при воздействии последствий тайфуна на гидрологические условия. Исследован случай распространения сигналов с центральной частотой 400 Гц из протяженного шельфа в глубокое море при осуществлении приема на глубинах 69, 126, 680 и 914 м. Для приема сигналов была использована дрейфующая система с распределенными по глубине до 1000 м гидрофонами с возможностью длительной регистрации на фиксированных глубинах. Анализ экспериментально полученных импульсных характеристик показал, что на всех горизонтах с одинаковым временем фиксируется группа лучевых приходов длительностью около 0.5 секунд с максимальным по амплитуде пиком, находящимся в большинстве случаев в центре. По результатам эксперимента были рассчитаны эффективные скорости распространения сигналов, принятых на различных глубинах, и сформулированы выводы о возможности решения задач высокочастотного позиционирования подводных объектов различного назначения на глубинах до 1000 м и удалении на сотни километров от постов управления.

26.01-01.189 Исследование времен прихода импульсных сигналов при распространении из мелкого моря в глубокий океан в волноводах Японского моря. *Сорокин М.А., Голов А.А., Шкрамада С.С., Гузовская А.Ч., Ткаченко П.Д., Сокиркина Д.В., Моргунов Ю.Н., Петров П.С. Акустический журнал. 2025. 71, № 6, с. 824-834. Рус.*

Представлено описание результатов натурального эксперимента, проводившегося в августе 2023 г. в Японском море по излучению и приему импульсных акустических сигналов для сценария "шельф—глубокое море". Особенностью экспериментального волновода является деление на мелководную и глубоководную части, приблизительно равные по длине. Обсуждаются результаты математического моделирования распространения импульсных акустических сигналов из шельфовой зоны в глубокое море для данной трассы. Описана модовая структура поля в волноводе, получены теоретические оценки времен прихода модовых компонент акустического сигнала. Обнаружено и объяснено теоретически нетипичное для данного класса задач образование плотного пучка модовых компонент малых номеров. Данное явление связано как с конфигурацией волновода, разделенного в приблизительно равных долях на глубоководную и мелководную часть, так и с ориентацией акустической трассы под острым углом относительно градиента глубин, что создает условия для возникновения явления горизонтальной рефракции. Сопоставление экспериментальных импульсных характеристик волновода и оценок времен прихода дает основание полагать, что отличительной особенностью акустических трасс такого типа является расщепление основного пика импульсной характеристики волновода и появление вместо него двух (и более) локальных максимумов.

26.01-01.190 Дальняя многолучевая реверберация в подводном звуковом канале. *Клячин В.И. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 27. Рус.*

При однолучевой реверберации рассеянный сигнал возвращается к источнику звука по тому же лучу, по которому достиг рассеивающей точки. При многолучевой реверберации рассеянный сигнал может вернуться и по другому лучу. Однолучевая реверберация характерна для однородного пространства. Многолучевая — для подводного звукового канала (ПЗК). На основе одного известного лучевого приближения для расчета дальнего распространения звука в ПЗК (Урик 1963, Бреховских 1964) записывается выражение для поля узкого пучка

лучей. Считается, что этот пучок, вышедший из излучателя под неким углом, на большой дистанции разойдется на некий слой в ПЗК. Вернуться назад к излучателю, рассеянный сигнал может и по другому пучку. (При расчете рассеянного поля используется то же приближение для дальнего распространения.) В результате получается формула для вычисления многолучевой реверберации в ПЗК. Разные пучки имеют разную среднюю скорость распространения вдоль канала. Рассеяние везде считается однократным и малым (тогда сигнал при распространении не будет ослабевать из-за рассеяния). Оказывается, что такая многолучевая реверберация в ПЗК обратно пропорциональна времени. Тогда как однолучевая реверберация в однородном, всюду рассеивающем пространстве обратно пропорциональна второй степени времени. А звукорассеивающий слой в однородном пространстве приведет к однолучевой реверберации, обратно пропорциональной третьей степени времени. Ключевые слова: однолучевая и многолучевая реверберация, подводный звуковой канал.

Акустика мелкого моря

26.01-01.191 Резонансные взаимодействия волн Пуанкаре в приближении мелкой воды. *Климачков Д.А., Петросян А.С. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6, с. 698-709. Рус.

26.01-01.192 Моделирование зарождения и эволюции конвективных вихревых структур на склоне. Численный эксперимент. *Ванкевич Р.Е., Родионов А.А., Шпилев Н.Н., Чеботкова В.В. Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2025. 18, № 4, с. 20-27. Рус.

Разрабатывается детальная негидростатическая модель гравитационного течения над наклонным дном, способная явно воспроизводить конвективные ячейки для последующего обобщения и разработки новых параметризаций. Для минимизации численных шумов использован метод наклонного расчетного домена и регулярная прямоугольная сетка. Исследованы свойства адвективных схем высокого порядка точности. Показана принципиальная возможность явного численного воспроизведения относительно крупных (порядка метра и более) турбулентных структур в океане — конвективных ячеек. Накопление поверженного на физическом эксперименте цифрового массива высокого разрешения 3-мерных полей скорости и трассиров (активного и пассивного) для диапазона чисел Рейнольдса 30—300. В дальнейшем данный массив будет использован для разработки новых параметризаций в крупномасштабную модель циркуляции океана.

26.01-01.193 Совместное влияние внутренних волн и ветрового волнения на коэффициент усиления вертикальной антенны в мелком море. *Раевский М.А., Бурдуковская В.Г. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5, с. 685-694. Рус.

Приведены результаты теоретического исследования влияния случайных внутренних волн и ветрового волнения на коэффициент усиления вертикальной антенной решетки в мелком море. Предложен алгоритм расчета корреляционной матрицы сигнала на апертуре антенной решетки в условиях совместного воздействия фона внутренних волн и поверхностного волнения, использующий разделение флуктуаций акустических мод на высокочастотную и низкочастотную компоненты. При этом учитываются межмодовые корреляции, т.е. интерференционная структура акустического поля в волноводе. Для волновода с летней гидрологией проведено численное моделирование вертикальной функции когерентности сигнала и коэффициента усиления антенной решетки в зависимости от ее удаления от источника. При этом, для сравнения, используются различные методы пространственной обработки сигнала: метод ФАР и оптимальные алгоритмы (линейный и квадратичный). Обсуждается влияние фона внутренних волн на коэффициент усиления антенной решетки в зависимости от акустических параметров донного грунта. Анализируются также результаты численного моделирования коэффициента усиления вертикальной антенны при совместном влиянии фона внутренних волн и ветрового волнения.

26.01-01.194 Результаты исследования акустической

обстановки северной части Обской губы. *Манульчев Д.С., Ковзель Д.Г., Дудов С.В., Гриценко В.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 6, с. 811-823. Рус.

Представлены результаты акустического мониторинга северной части мелководного залива Карского моря—Обской губы (эстуарий р. Обь). Среди акустических источников выделены судовые шумы и коммуникационные сигналы морских млекопитающих. Проведен количественный анализ сигналов белухи с использованием сверточной нейронной сети. По данным специальных исследований с использованием низкочастотного импульсного пневмоизлучателя построена модель неоднородного геоакустического волновода, характерная для данного района. Сделаны выводы о высоком уровне затухания низкочастотного звука при его распространении. Опираясь на численное моделирование, результаты измерений расширены на другие участки рассматриваемого района, имеющие потенциальные источники антропогенных шумов.

26.01-01.195 Взаимодействие мод широкополосного звукового поля в мелководном волноводе с локальными неоднородностями: теория, моделирование, эксперимент. *Луньков А.А., Шерменева М.А., Сидоров Д.Д., Усанский Э.М., Кацнельсон Б.Г., Ковзель Д.Г., Безответных В.В. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 17. Рус.

Аналитически, с помощью численного моделирования, а также в натуральных экспериментах изучено взаимодействие нормальных мод (мод) в широкой полосе частот (50—2000 Гц) на акустических трассах (длиной до 5 км) в мелководных волноводах (глубиной до нескольких десятков метров) с пространственно локализованными неоднородностями различных типов. В рамках теории взаимодействующих мод получены аналитические частотные зависимости модовых амплитуд в пренебрежении обратным рассеянием. Показано, что локальная неоднородность, вызывая взаимодействие мод, приводит к осцилляциям их амплитуд вдоль оси частот, причем период осцилляций определяется расстоянием от источника звука до неоднородности, и осцилляции соседних мод наделяются в противофазе. Выводы подтверждаются численным моделированием с использованием метода широкоугольного параболического уравнения и последующей модовой фильтрацией для таких локальных возмущений, как: поднятие дна, солитоноподобная внутренняя волна, участок водоподобных донных осадков, область касания дна термоклинном и др. Экспериментальные наблюдения частотных осцилляций проведены в заливе Посьета Японского моря для локального поднятия дна, а также в озере Кинерет (Израиль) для области, где термоклин касается дна. Исследование поддержано грантом Российского научного фонда № 22-72-10121, <https://rscf.ru/project/22-72-10121/>. Ключевые слова: мелководный волновод, широкополосный сигнал, локальная неоднородность, нормальные волны (моды), взаимодействие мод.

26.01-01.196 Структура акустического поля в мелком море с пузырьковыми облаками. *Буланов В.А., Булгаева Л.К. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 18. Рус.

Существуют противоречивые мнения о вкладе приповерхностного слоя пузырьков в затухание и структуру низкочастотного звука в океане. Ниже проанализировано влияние приповерхностного слоя пузырьков на затухание и структуру звука в мелком море с привлечением экспериментальных результатов для функции распределения пузырьков по размерам, полученной в том числе в ряде работ авторов статьи. Показано, что влияние приповерхностного слоя пузырьков на распространение звука может быть значительным при достаточно типичных концентрациях пузырьков в приповерхностных слоях моря. Для изучения влияния приповерхностного слоя пузырьков на распространение звука было проведено численное моделирование для мелкого моря при использовании приближения нормальных мод. Была выбрана модель горизонтально однородного подводного звукового канала с абсолютным отражающими границами. Дополнительное затухание, вызванное наличием пузырькового слоя, описывается мнимой частью собственных значений мод. Расчеты звукового поля были выполнены по программе KRAKENC для взаимодействующих мод. Излучатель располагался на глубине 10 метров при глубине моря 42 м. Показано, что интерференционная структура поля при

изменении частоты испытывает значительные изменения, которые наиболее сильно наблюдаются при больших концентрациях пузырьков. С увеличением частоты резко увеличивается затухание звука и структура становится более мелкой. Тем не менее при изменении почти на порядок частоты звука остается правильное чередование максимумов и минимумов, которые связывают с наличием пространственно-частотного инварианта Чупрова. Вблизи поверхности акустическое поле резко уменьшается вследствие поглощения звука. Ключевые слова: интерференционная структура, поглощение звука, пузырьки.

26.01-01.197 Модовая дисперсия в присутствии сосредоточенной неоднородности в мелководном волноводе. *Сидоров Д.Д., Боджона С.Д., Ковзель Д.Г., Безответных В.В., Луньков А.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 19. Рус.

Проведен анализ данных акустического эксперимента, проведенного в прибрежной зоне Японского моря, по излучению ЛЧМ-сигнала в полосе частот от 200 Гц до 2 кГц. Эксперимент осуществлялся на двух акустических трассах: в присутствии сосредоточенной неоднородности (локальное поднятие дна) и на трассе с перепадом глубин менее 2 м. Максимальное значение глубины обоих волноводов не превышало 35 м. Протяженность трасс была ~ 2 км. Натурные измерения проводились в сентябре в присутствии термоклина в придонной области. Прием сигнала осуществлялся на вертикальную цепочку гидрофонов. При выделении мод на вертикальной цепочке гидрофонов на трассе с неоднородностью наблюдаются осцилляции амплитуд мод в частотной области. Эффект обусловлен взаимодействием мод. Анализ модовых спектрограмм показывает частичную межмодовую перекачку энергии, а также уменьшение времени прихода низших мод на частотах до 500 Гц. Аналогичные особенности были получены в рамках численного моделирования. Результаты работы могут быть использованы для проведения дистанционного акустического зондирования неоднородностей дна в прибрежных зонах Мирового океана. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-72-10121, <https://rscf.ru/project/22-72-10121/>. Ключевые слова: акустика мелкого моря, неоднородный волновод, нормальные волны (моды), межмодовое взаимодействие.

26.01-01.198 Оценка звукового поля вытекающих мод вблизи источника. *Белогорцев А.С., Журавлев В.А., Тютюкин Ю.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 20. Рус.

Рассмотрен приближенный итерационный подход к вычислению звукового поля вытекающих мод, не требующий применения сложных процедур поиска корней дисперсионного уравнения в комплексной плоскости. Предложено уточнение расчетных соотношений, обеспечивающее существенное уменьшение погрешностей оценок комплексных волновых чисел вытекающих мод. Ключевые слова: звуковое поле, гидроакустический волновод, вытекающие моды, дисперсионное уравнение.

26.01-01.199 Распространение звука в неоднородном волноводе с осадками и упругим донным слоем на жестком основании. *Папкова Ю.И., Папкова А.С., Шукло Д.М.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 20. Рус.

Рассматривается неоднородный акустический волновод с комбинированным жидко-упругим осадочным слоем на жестком основании. Данная модель включает водный слой с неоднородным профилем скорости звука, лежащий на слое жидких осадков (морской ил), которые, в свою очередь, лежат на упругом слое донных осадков. Нижняя граница волновода является абсолютно жесткой, что приближенно соответствует основанию в виде скальных пород. Границы волновода полагаются плоскопараллельными. На основе метода нормальных мод строятся функции звуковых потенциалов в водном слое и осадочных слоях. Стыковка этих решений по вертикали дает возможность получить дисперсионное уравнение для определения комплексных собственных чисел задачи в форме определителя шестого порядка. Решение неоднородной задачи с источником получено на основе функции Грина, которая впервые строится для данной модели. При этом существенно, что из системы соотношений на границе водный слой—упругий слой удастся точно вывести аналитическое выражение для импедансной функции

на нижней границе водного слоя, которая задает связь между потенциалом в водном слое и его производной. Это, в свою очередь, дает возможность получить явные аналитические выражения для всех входящих в решение величин и построить решение в виде суммы нормальных мод. Приводятся примеры численного моделирования. Ключевые слова: неоднородный волновод, упругий слой, нормальные моды, бесконечные системы уравнений.

26.01-01.200 Стабильность начала и протяженности первой зоны конвергенции Канарской котловины Атлантики в период март 1980 — март 2025 гг. *Львов К.П., Цыбин В.С.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 20-21. Рус.

Экспериментальные оценки начала и протяженности были получены в ходе экспедиций АКИНа в 1980, 1988, 1990 и 1991 гг. Оценки в лучевом приближении соответствуют экспериментальным данным 1980—1991 гг. Результаты кратко опубликованы в двух номерах Акустического журнала в 1995 и 2002 гг. В настоящей работе расчет оценок вертикального распределения скорости звука и интенсивности поля в четырех районах канарской котловины экспериментов АКИНа произвождился по общедоступным в настоящее время электронным ресурсам термохалинных полей Мирового океана последних десятилетий и текущих дат. Расчеты скорости звука произведены по широко известной формуле Чена и Миллера (1977 г.). Для расчета интенсивности поля использовался лучевой алгоритм интерактивного программного комплекса Авилова и Попова. Начало и протяженность определялись по горизонтальным разрезам интенсивностей поля для глубин источника и приемника в экспериментах АКИНа. Приведены примеры полученных скоростей звука, картины звукового поля, горизонтальные разрезы интенсивности поля. Значения начала и протяженности сведены в таблицы по четырем районам. Результаты расчетов по данным термохалинных полей последних десятилетий, декабря 2024 г. и марта 2025 г. подтверждают относительную стабильность начала и протяженности. Ключевые слова: первая зона конвергенции, АКИН, скорость звука, интенсивность поля.

26.01-01.201 Исследование влияния случайных вариаций слоистой структуры донных осадков на гидроакустическое поле, возбужденное решеткой узкополосных излучателей. *Лисин А.А., Малеганов А.И., Хилько А.И.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 21. Рус.

Разработка акустических систем подводного наблюдения требует учета влияющих на эффективность их работы факторов: геофизические параметры среды распространения звука, статистика изменений гидросферы и атмосферы, а также точность знания структуры дна в районе функционирования системы. Основным критерием качества системы наблюдения служит обычно обеспечиваемое в ней отношение.

26.01-01.202 Эффективность методов пространственной обработки частично-когерентных сигналов в условиях априорной неопределенности модели канала распространения звука в мелком море. *Малеганов А.И., Смирнов А.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 21. Рус.

Представлены результаты численного моделирования эффективности методов пространственной обработки акустических сигналов, принимаемых вертикальной антенной решеткой в канале мелкого моря (на примере сезонных каналов Баренцева моря). Моделирование выполняется для низкочастотного диапазона в рамках модового формализма расчета звуковых полей в подводных каналах в предположении, что статистические эффекты распространения звука приводят к ослаблению пространственной когерентности сигнала удаленного источника на входе антенны. Предполагается, что регулярные параметры канала известны с некоторой степенью неопределенности (рассогласования) по отношению к его опорной модели, которая используется при построении пространственной обработки. Предполагается также, что полезный сигнал принимается на фоне интенсивной помехи (другого источника) и шумов среды, которые, как и сигналы отдельных источников, характеризуются определенным модовым составом. Основное внимание уделяется получению и интерпретации количественных оценок «до-

пустимых» уровней рассогласования модели канала с реальной средой по тем параметрам, которые оказывают наибольшее влияние, — по вертикальному профилю скорости звука в водной толще и геоакустическим параметрам дна. Полученные расчеты и оценки сопоставляются с ранее полученными аналогичными результатами для методов обработки полностью когерентных полезного и помехового сигналов (для относительно близких источников). Ключевые слова: коэффициент усиления антенной решетки, методы пространственной обработки, подводный звуковой канал, априорная неопределенность параметров волновода.

26.01-01.203 Моделирование низкочастотного гидроакустического поля в морских акваториях. Заславский Ю.М., Заславский В.Ю. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 22. Рус.

Проведено исследование низкочастотных гидроакустических волн (20—100) Гц, распространяющихся в глубоководных и мелководных акваториях мирового океана. На основе метода конечных элементов выполняется моделирование гидроакустического поля, излучаемого гармонически осциллирующим (пульсирующим) монополюсом, погруженным на глубину точки экстремума скорости звука. Для акватории глубокого океана (глубиной 3 км) исследуются эффекты рефракции волн, обусловленные стратификацией океана по скорости распространения звука. Выявлены зоны конвергенции, где имеет место концентрация волнового поля и схождение волновых лучей к свободной водной поверхности. Определена область, в которой возможно образование «подводного звукового канала». В случае акватории, соответствующей так называемому «мелкому морю» с глубиной порядка 200 м, показано влияние эффектов волновой дисперсии, обусловленных модовой структурой, которые на дальних дистанциях доминируют над эффектами рефракции, хотя при распространении на незначительных дистанциях последние также присутствуют. Показано, что на рассматриваемых частотах на удалениях от источника порядка первых десятков километров в излучении присутствует несколько низших мод. Проведенное моделирование показывает возможность оптимального расположения приемной антенны по трассе с точки зрения достижения высокой эффективности регистрации сигнала.

26.01-01.204 Вычитание реверберационной помехи в мультипинговом режиме. Коробов В.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 22. Рус.

Обычно методы снижения когерентной реверберационной помехи основываются на данных одного пинга и не приводят к приемлемым результатам в случае низкого отношения сигнал/реверберационная помеха (СРПО). В данной статье рассматривается использование данных нескольких пингов для снижения реверберационной помехи. Реверберацию можно рассматривать как сумму постоянной составляющей и случайной, непостоянной реверберации. Предлагается метод оценки и вычитания постоянной составляющей реверберации для повышения СРПО и улучшения характеристик работы устройств активной акустической локализации, работающих в стационарных условиях. Ключевые слова: реверберационная помеха, пинги, стационарные условия.

26.01-01.205 Оценки расстояния между источником и приемником звука при неизвестных параметрах дна на мелководье в Карском море. Петников В.Г., Сидоров Д.Д., Луньков А.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 22-23. Рус.

В рамках численных экспериментов проанализированы возможные погрешности при определении расстояния между источником и приемником звука в мелководной части Карского моря на дистанциях до 10 км. Для оценки расстояния рассчитывалось время распространения акустических сигналов с линейной частотной модуляцией и несущей частотой 3 кГц. Расчеты были выполнены для типичных для рассматриваемой акватории условий: 1) зима, ледовый покров и приповерхностный акустический волновод, 2) лето, свободная поверхность воды и придонный волновод. Скорость звука в дне варьировалась от 1440 м/с (водоподобное дно) до 1800 м/с (твердое дно). продемонстрировано, что возможная ошибка в определении рас-

стояния может достигать несколько метров в летних условиях и несколько десятков метров в зимних. Указанная ошибка обусловлена многомодовым характером волноводного распространения звука, что приводит к сложным по форме сигналам на выходе оптимального корреляционного приемника. Полученные результаты важны для подводной акустической навигации на арктическом шельфе России. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 25-22-00262. <https://rscf.ru/project/25-22-00262/>. Ключевые слова: подводная акустическая навигация, арктический шельф.

26.01-01.206 Эффективность вертикальной антенны в мелком море на фоне случайных внутренних волн и ветрового волнения. Раевский М.А., Бурдуковская В.Г. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 23. Рус.

Приводятся результаты теоретического исследования влияния случайных внутренних волн и ветрового волнения на коэффициент усиления вертикальной антенной решетки (АР) в мелком море. Предложен алгоритм расчета корреляционной матрицы сигнала на апертуре АР в условиях совместного воздействия фона внутренних волн и поверхностного волнения, использующий разделение флуктуаций акустических мод на высокочастотную и низкочастотную компоненты. При этом учитываются межмодовые корреляции, то есть интерференционная структура акустического поля в волноводе. Для волновода с легкой гидрологией проведено численное моделирование вертикальной функции когерентности сигнала и коэффициента усиления антенной решетки в зависимости от ее удаления от источника. При этом для сравнения используются различные методы пространственной обработки сигнала: метод ФАР и оптимальные алгоритмы (линейный и квадратичный). Обсуждается влияние фона внутренних волн на коэффициент усиления АР в зависимости от акустических параметров донного грунта. Анализируются также результаты численного моделирования коэффициента усиления вертикальной антенны при совместном влиянии фона внутренних волн и ветрового волнения. Ключевые слова: мелкое море, внутренние волны, ветровое волнение, когерентность, алгоритмы обработки.

26.01-01.207 Учет взаимодействия мод при томографическом восстановлении параметров мелкого моря с помощью базиса полосчатого типа. Щербина А.В., Шуруп А.С. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 24. Рус.

Работа посвящена развитию методов модовой томографии океана, использующих разложение восстанавливаемых параметров среды по базисам специального типа — полосчатым базисам [Буров В.А. и др., 2005, 2008]. Ранее такой подход был обобщен для восстановления параметров мелкого моря в адиабатическом приближении [Burov V.A. et al., 2013, 2015]. В качестве данных рассеяния при использовании полосчатого базиса выбираются времена распространения отдельных мод. Однако для учета многоканального рассеяния необходима адаптация полосчатого базиса к модели распространения звука с учетом взаимодействия мод. В работе рассматриваются пример такого базиса полосчатого типа и результаты его применения для решения задачи томографического восстановления параметров мелкого моря. Численное моделирование показывает возможность использования обобщенного полосчатого базиса для восстановления неоднородностей рельефа дна и возмущений скорости звука в водном слое. Ключевые слова: томография мелкого моря, полосчатый базис, неадиабатическое распространение мод.

26.01-01.208 Гидроакустический комплекс защиты охраняемых объектов "Кербер". Максимов Г.А., Волков А.Ю., Григорьев А.Г., Корольков З.А., Коновалов В.Н., Ларичев В.А., Лесонен Д.Н., Смирнов В.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 26. Рус.

Обеспечение безопасности охраняемых объектов от проникновения со стороны акваторий требует комплексного решения, обеспечивающего весь цикл мероприятий по противодействию проникновению на объект, а именно: обнаружение нарушителя, голосовое предупреждение, нелетальное воздействие и, наконец, задержание. В докладе представлена информация о разработанном в АО «АКИН» гидроакустическом комплексе «Кербер», состоящем из системы голосового предупреждения

(СП), системы нелетального воздействия (СНВ) и системы автоматического наведения на цель на телеуправляемой платформе. Ключевые слова: гидроакустический комплекс, голосовое предупреждение, нелетальное воздействие.

26.01-01.209 Некоторые результаты исследования временной изменчивости характеристик гидроакустических шумов на мелководье. *Горовой С.В. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 26. Рус.

Приведены результаты экспериментального исследования зависимости от времени параметров моделей авторегрессии — скользящего среднего и огибающих гидроакустических шумов, зарегистрированных в мелководной прибрежной акватории в районе интенсивного судоходства залива Петра Великого в Японском море с использованием векторно-скалярного приемника инерционного (соколеблющегося) типа при состоянии моря 2 балла. Ключевые слова: векторно-скалярные приемники, мелкое море, гидроакустические шумы.

26.01-01.210 Подводные шумы в районе Соловецкого архипелага в летний период: наблюдаемые уровни и прогноз для некоторых видов строительных работ. *Шатравин А.В., Луньков А.А., Великов Р.А., Краснова В.В., Чернецкий А.Д., Великова Е.А., Гебрук А.В. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 27. Рус.

Для акватории Соловецкого архипелага проведен анализ статистических характеристик подводного шума, наблюдаемого в летний период, а также прогноз уровней шумового загрязнения, ожидаемого в связи с планируемым строительством технологического причала. Район характеризуется сложным мелководным рельефом дна, существенным влиянием на распространение звука приливных процессов, а также высоким уровнем антропогенной нагрузки. Измерения шума проводились в трех точках на удалении от 70 до 500 м от предполагаемого места строительства с глубинами от 2,5 до 11 м. Основной вклад в подводный шум вносили проходы малых и средних судов с характерным временем акустического воздействия, не превышающим первые десятки минут. Максимальные зарегистрированные уровни среднего за 10 минут звукового давления (SPL) составили от 123 до 144 дБ отн. 1 мкПа, минимальные — от 86 до 104 дБ отн. 1 мкПа. Наблюдался ярко выраженный суточный ход SPL, обусловленный в первую очередь ростом интенсивности судоходства в дневные часы. Результаты моделирования распространения шума от погружения свай вибрационным методом позволяют предположить, что этот вид работ не приведет к существенному росту SPL в дневные часы на расстояниях более 1 км от берега. В то же время забивка свай гидравлическим методом потенциально может стать доминирующим источником шума на расстояниях до нескольких км от берега даже в дневные часы. Ключевые слова: Соловецкий архипелаг, подводный шум, шумы судоходства, акустическое моделирование, антропогенное воздействие.

26.01-01.211 Оценка расстояния до источника в мелком море с использованием фазо-энергетического инварианта. *Аксенов С.П., Кузнецов Г.Н. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 69. Рус.

Оценка координат источника в мелком и глубоком море выполняется с использованием различных алгоритмов, в том числе алгоритмов согласованной со свойствами среды обработки и инварианта Чупрова. Но для согласованной обработки требуется точная информация о передаточной функции волновода, а применение инварианта Чупрова возможно в случае его устойчивости при изменении расстояния и вариации свойств среды. В докладе приводятся результаты компьютерного моделирования и впервые применительно к мелкому морю показана возможность оценки расстояния до источника с использованием предложенного авторами фазо-энергетического инварианта. Установлено, что на всех расстояниях от источника до приемника, кроме самых малых расстояний, соизмеримых с глубиной волновода, фазо-энергетический инвариант имеет стабильное значение «+1» и его применение позволяет получить достаточно точную оценку расстояния. Причина погрешностей оценок на малых расстояниях — нестабильность значений фазо-энергетического инварианта в зоне формирования нормальных волн. Даются рекомендации по применению предложенного ме-

тода оценки расстояния и координат источника. Ключевые слова: мелкое море, определение фазо-энергетического инварианта, оценка расстояния до источника с использованием фазо-энергетического инварианта.

26.01-01.212 Повышение помехоустойчивости обнаружения сигналов в мелком море с использованием фазового инварианта. *Кузнецов Г.Н., Степанов А.Н. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 70. Рус.

Для повышения помехоустойчивости обнаружения источника сигналов необходима информация, содержащаяся в моделях сигналов, волновода и помех. Для обнаружения обычно применяются различные алгоритмы согласованной или квазисогласованной со свойствами среды обработки. Одно из направлений работ предполагает использование устойчивых к изменению свойств среды волноводных инвариантов или инвариантных соотношений. В течение многих лет для этой цели применяется инвариант Чупрова. Позднее нами было предложено использовать для этих целей фазовый инвариант, свойства которого на плоскости частота—расстояние связаны с характеристиками линий равных фаз. Установлено, что как линии равных фаз, так и фазовые инварианты отличаются устойчивостью при изменении параметров волновода, расстояния, глубин источников и приемников, профиля скорости звука и т. д. Но фазовый инвариант равен «-1» в отличие от инварианта Чупрова или фазо-энергетического инварианта, которые равны «+1». В докладе приводятся результаты компьютерного моделирования и оценки фазового инварианта в мелком море. Показано, что при сканировании в пространственно-частотной области и сложении комплексных спектров вдоль линий равных фаз наблюдается когерентное накопление мощности сигнала, в отличие от суммирования спектральных плоскостей мощности сигналов с использованием инварианта Чупрова или фазо-энергетического инварианта, которые происходят энергетически (видеокерентно). Ключевые слова: мелкое море, волноводные инварианты, фазовый инвариант, когерентное суммирование спектральных плотностей сигнала вдоль линии равных фаз.

26.01-01.213 Волновые режимы течения и перемешивание в придонных гравитационных потоках. *Чесноков А.А., Тарасов С.К. Прикладная механика и техническая физика.* 2025. 66, № 4, с. 58-73. Рус.

Предложена одномерная эволюционная система уравнений, описывающая в приближении Буссинеска движение тонкого придонного слоя в затопленном пространстве более легкой жидкости с учетом развития сдвиговой неустойчивости и формирования промежуточного слоя смешения. Для гидростатических течений определены скорости распространения возмущений и сформулировано понятие докритического (сверхкритического) течения. Рассмотрена стационарная задача о слое смешения. Показано, что в зависимости от числа Фруда набегающего потока формируется монотонный или волновой слой смешения. В первом случае достигается режим максимального вовлечения и стационарное решение определено на конечном промежутке. При учете негидростатичности давления в нижнем слое построены стационарные решения в форме уединенных волн второй моды, примыкающих к заданному постоянно течению. Выполнены нестационарные расчеты формирования и распространения придонных волн большой амплитуды.

26.01-01.214 Энергетические процессы в простом вихре акустической интенсивности. *Щуров В.А., Ткаченко Е.С., Ляшков А.С., Щеглов С.Г. Подводные исследования и робототехника.* 2025, № 4, с. 31-39. Рус.

На основе анализа экспериментальных данных исследуется акустическое поле тонального сигнала частотой 88 ± 1 Гц в условиях мелкого моря в дальнем поле движущегося источника. В когерентном акустическом поле с помощью шестнадцатиканальной системы, состоящей из четырех комбинированных приемников, наблюдается динамика движения акустической энергии в области вихря вектора интенсивности, вызванного дислокацией фазового фронта. Вихрь, возникающий при скачке фазы, равно $\pm 2\pi$, называем простым. Интерференционные процессы в вихре порождают прямые потоки, проходящие через вихрь, и обратные вихревые потоки энергии, которые интер-

ферируют с прямыми потоками и покидают вихрь. Замкнутых потоков энергии в вихре нет.

См. также 26.01-01.50, 26.01-01.67, 26.01-01.68

Статистическая гидроакустика

26.01-01.215 Комплексный подход к исследованию геосферных волновых процессов. *Долгих Г.И., Антонов В.А., Болсуновский М.А., Будрин С.С., Долгих С.Г., Иванов М.П., Овчаренко В.В., Чупин В.А., Швец В.А., Яковенко С.В.* Экологические системы и прибрежные. 2025, № 11, с. 31-41. Рус.

Описано современное состояние и научные задачи, решаемые с помощью «Международного научно-образовательного геосферного полигона», состоящего из системы лазерных деформографов, лазерного нанобарографа, сейсмометров, лазерных измерителей вариаций давления гидросферы, метеостанции и мареографа. При обработке экспериментальных данных получены общие закономерности в записях приборов сейсмических событий, вариаций давления атмосферы и гидросферы. Ключевые слова: интерферометр, сейсмометр, мареограф, приливы, морские волны, землетрясения.

Лучевое распространение звука в океане

См. 26.01-01.93

Обратное рассеяние, эхо, реверберация на комбинациях границ

26.01-01.216 Развитие нелинейной модели второго порядка для описания морских волн. *Запевалов А.С.* Мат. моделир. 2025, 37, № 6, с. 185-193. Рус.

Обсуждается описание нелинейных характеристик морских поверхностных волн моделями, построенными на основе разложения Стокса. Отмечены ограничения существующих моделей, не позволяющие описать многообразие форм волн, присутствующих на морской поверхности. Обоснована необходимость введения дополнительного параметра. Предложена видоизмененная нелинейная модель второго порядка, позволяющая получить отрицательные значения коэффициента асимметрии, которые наблюдаются в морских экспериментах, но не описываются существующими моделями. Предложенная модель также позволяет получить горизонтальную асимметрию волн.

Рассеяние на шероховатой поверхности

См. 26.01-01.216

Излучение колеблющихся под водой объектов, импеданс

26.01-01.217 Фокусировка внутренних волн при колебаниях тороподобных тел в однородно стратифицированной жидкости. *Кудряшова С.А., Шамакова Н.Д., Гаврилов Н.В., Ерманюк Е.В.* Прикладная механика и техническая физика. 2025, 66, № 6, с. 204-214. Рус.

Проведено экспериментальное исследование фокусировки внутренних волн при горизонтальных колебаниях тороподобного тела в линейно стратифицированной жидкости. Образующая тела представляла собой окружность, а скелетная кривая, соединяющая центры образующих, — эллипс. Для осесимметричного колеблющегося тора экспериментальные данные о распределении амплитуды внутренних волн в его окрестности сопоставлены с оценками по линейной теории, полученными в приближении тонкого тела. Показано, что при генерации волн неосесимметричными волнопродукторами амплитуда в зоне фокусировки уменьшается, что обусловлено различием как суммарной мощности излучения, так и структуры зоны фокусировки. Построены изоповерхности экспериментально измеренных волновых амплитуд в зоне фокусировки, полученные данные сопоставлены с результатами, найденными в рамках лу-

чевой теории.

Подводные приложения нелинейной акустики, взрывы

См. 26.01-01.30

Акустика морских осадков, ледяного покрова, подводная сейсмоакустика

26.01-01.218 Профилирование донного грунта с использованием параметрического излучения. *Вагин А.В.* Нелинейный мир. 2025, 23, № 4, с. 69-78. Рус.

Постановка проблемы. Поисково-обследовательские и инженерно-геологические работы предполагают выполнение грунтовой съемки донного грунта. На малых глубинах грунтовая съемка выполняется с помощью линейного однолучевого акустического профилографа и не вызывает существенных трудностей и эксплуатационных ограничений. На больших глубинах грунтовая съемка должна проводиться с такой же глубиной профилирования и разрешающей способностью, как для малых глубин. Для обеспечения профилирования донного грунта на больших глубинах требуется низкая рабочая частота (1–3 кГц), при этом возрастают массогабаритные характеристики, в связи с чем возникают эксплуатационные ограничения. Указанные недостатки устраняются применением параметрического режима излучения, позволяющего существенно уменьшить массогабаритные характеристики излучающей антенны, при приемлемых технических характеристиках. Цель. Рассмотреть физические принципы акустического профилирования донного грунта с использованием параметрической технологии. Результаты. Приведены основы параметрического излучения для стратификации слоев осадочной структуры донного грунта. Рассмотрены способы формирования параметрического излучения, представлен двухканальный вариант построения параметрической системы профилирования донного грунта. Выполнены расчет частот накачки для достижения разрешающей способности до 10 см при максимальной глубине места до 3000 м, а также расчет отношения «сигнал/помеха» для различных типов донного грунта по методу волновых фронтов. Проведенный расчет сопоставлен с полученными экспериментальными результатами. В натуральных условиях выполнено измерение фазовой задержки механических колебаний двух подрешеток параметрического излучателя. Построены диаграммы направленности на частотах накачки и разностной частоте, а также графические зависимости отношения «сигнал/помеха» от глубины профилирования. Практическая значимость. Использование параметрического режима работы акустического профилографа донного грунта позволит отказаться от традиционных линейных акустических систем профилирования, что существенно повысит эксплуатационные характеристики и производительность грунтовой съемки, даст возможность выполнять грунтовую съемку в глубоководных районах Мирового океана.

26.01-01.219 Программно-аппаратные комплексы и оборудование для морской сейсморазведки, разработанные в АО «АКИН». *Максимов Г.А.* Акустический журнал. 2025, 71, № 5S, с. 4. Рус.

За последние годы в АО «АКИН» разработан целый ряд оборудования и программно-аппаратных комплексов, предназначенных для различных видов морской сейсморазведки. Это, в частности, программно-аппаратный комплекс на основе автономной секционной донной сейсмокоды (ПАК АСДС), регистрирующий комплекс на основе цифровой твердотельной буксируемой сейсмокоды (РК ЦТБС), система подводного позиционирования «Пикет», система акустического позиционирования буксируемых сейсмокоды (АПБС), интегрированная навигационная система «ИНСИНАВ», комплекс защиты охраняемых объектов «Кербер». В докладе приводятся технические характеристики разработанного в АО «АКИН» оборудования, а также результаты его морских испытаний. Ключевые слова: морская сейсморазведка, программно-аппаратные комплексы.

26.01-01.220 Распространение сейсмоакустической

волны в реалистичной модели берегового клина. Коваленко А. С., Преснов Д. А., Шуруп А. С. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 6. Рус.

Рассматривается действие точечного акустического источника, расположенного в однородном жидком клине на большом расстоянии от ребра клина с упругим основанием. Основное внимание уделяется эффективности трансформации акустической волны в сейсмическую на границе раздела твердой и жидкой сред. Анализируются известные аналитические представления для звукового поля в клине, полученные в лучевом приближении при помощи мнимых источников и методом разложения на нормальные моды. Для исследования сейсмоакустического сигнала, возникающего на суше после прохождения берегового клина, применялся псевдо-спектральный численный метод. С применением вычислений на графическом процессоре исследуется эффективность численного моделирования при учете реалистичной батиметрии шельфа Японского моря. Рассмотренная проблема представляет интерес для экологических исследований на шельфе и позволяет сформулировать задачу томографического прибрежного мониторинга. Ключевые слова: береговой клин, численное моделирование, лучевое представление, сейсмоакустика.

26.01-01.221 Интегрированная навигационная система для морской 3D сейсморазведки с использованием буксируемых сейсмоков. Новые возможности. Корольков З. А., Коновалов В. Н., Ларичев В. А., Лесонен Д. Н., Максимов Г. А., Смирнов В. А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 25. Рус.

При разведке, обустройстве и эксплуатации шельфовых месторождений широко применяются сейсмоакустические исследования, в настоящее время не имеющие альтернативы по точности результатов и производительности работ данными методами. Последние десятилетия развития в этом направлении привели к созданию (зарубежных) высокоэффективных систем, основанных на использовании буксируемых сейсмоков, пневмопушек, параванов и концевых буев, акустических систем позиционирования, навесных модулей управления по глубине и латерали, систем спутниковой навигации и радиосвязи. Все эти системы должны работать в единой связке под управлением интегрированной навигационной системы, чтобы обеспечить эффективное применение комплекса морской 3D сейсморазведки на основе буксируемых сейсмоков. В докладе представлена информация о разрабатываемой в АО «АКИН» интегрированной навигационной системы «ИНСИНАВ» и дополнительных возможностях, реализованных в этой системе. Ключевые слова: морская сейсморазведка, навигационная система, системы акустического позиционирования.

26.01-01.222 Строение верхней части осадочного чехла центральной Атлантики по данным высокоразрешающего сейсмоакустического профилирования. Росляков А. Г., Дмитриевский Н. Н., Ананьев Р. А. Океанология. 2024. 64, № 5, с. 807-816. Рус.

Проведена геологическая интерпретация данных сейсмоакустического профилирования с высоким разрешением, полученных в центральной Атлантике в 60-м рейсе НИС «Академик Иоффе». По особенностям сейсмической волновой картины выделены сейсмофации отложений абиссальных равнин, контуритов, гравитационных отложений, осадочных волн. Генетическая интерпретация выполнена с учетом результатов литологического изучения колонок донных осадков, полученных в предыдущие годы в научных экспедициях ИО РАН (32-й и 35-й рейсы НИС «Академик Иоффе»), а также данных глубоководного бурения. Роль гравитационных процессов в формировании приповерхностного осадочного слоя наиболее велика на участке района работ, примыкающем к континентальной окраине Южной Америки. Во всем районе отмечается широкое участие придонных течений как одного из главных агентов седиментогенеза, причем не только в формировании контуритовых дрейфов, но и в накоплении стратифицированных гемипелагических осадков.

26.01-01.223 Геологическое строение донных отложений вблизи острова Беннетта по сейсмоакустическим данным. Гайнанов В. Г., Зверев А. С., Ли Г. Океанология. 2025. 65, № 4, с. 673-680. Рус.

Остров Беннетта, один из наименее изученных островов Восточной Арктики, расположен в северной части Новосибирского архипелага между морями Лаптевых и Восточно-Сибирским и относится к группе островов Делонга. В статье представлены некоторые результаты обработки и интерпретации сейсмоакустических данных высокого разрешения, полученных в 78-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2019 г. Анализ сейсмоакустических разрезов позволил проследить по всей площади исследований границу несогласия между древними коренными и молодыми слабо консолидированными отложениями. Обнаружено относительно глубокое палеорусло ледникового происхождения, находящееся в предположительном продолжении известной в южной части острова долины. К юго-востоку от острова обнаружены скопления мелкозалегающего газа в осадках. На сейсмостратиграфическом анализе в осадочном чехле наблюдается тектонически раздробленный участок коренных отложений, с которым может быть связано образование наблюдаемых на спутниковых снимках паро-газовых шлейфов.

26.01-01.224 Строение шельфа Крыма по данным сейсмоакустического профилирования осадочной толщи. Хортов А. В., Пронин А. А., Римский-Корсаков Н. А., Коротяев В. Н., Руднев В. И. Океанология. 2025. 65, № 4, с. 710-724. Рус.

Представлены результаты сейсмоакустических исследований шельфа Крыма, выполненные в 2018–2023 гг. сотрудниками Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН. По результатам сейсмостратиграфического анализа в осадочном чехле выделены семь сейсмокомплексов. Выделены трансгрессивные и регрессивные циклы в плейстоцен-голоценовое время и связанные с ними абразионно-аккумулятивные процессы. Обнаружены следы погребенных речных палеодолин и их продолжение в виде подводных каньонов на склоне и в абиссальной котловине. Основные закономерности смены литофаций верхнеплейстоцен-голоценовых отложений связаны с новейшими блоковыми движениями. Отмечены проявления дегазации, приуроченные к району повышенной сейсмичности.

26.01-01.225 Строение верхней части осадочного чехла центральной Атлантики по данным высокоразрешающего сейсмоакустического профилирования. Росляков А. Г., Дмитриевский Н. Н., Ананьев Р. А. Океанология. 2025. 65, № 5, с. 807-816. Рус.

Проведена геологическая интерпретация данных сейсмоакустического профилирования с высоким разрешением, полученных в центральной Атлантике в 60-м рейсе НИС «Академик Иоффе». По особенностям сейсмической волновой картины выделены сейсмофации отложений абиссальных равнин, контуритов, гравитационных отложений, осадочных волн. Генетическая интерпретация выполнена с учетом результатов литологического изучения колонок донных осадков, полученных в предыдущие годы в научных экспедициях ИО РАН (32-й и 35-й рейсы НИС «Академик Иоффе»), а также данных глубоководного бурения. Роль гравитационных процессов в формировании приповерхностного осадочного слоя наиболее велика на участке района работ, примыкающем к континентальной окраине Южной Америки. Во всем районе отмечается широкое участие придонных течений как одного из главных агентов седиментогенеза, причем не только в формировании контуритовых дрейфов, но и в накоплении стратифицированных гемипелагических осадков.

См. также **26.01-01.30, 26.01-01.76, 26.01-01.215**

Подводные шумы, механизмы генерации и характеристики полей

26.01-01.226 Особенности внедрения новой редакции руководства ИМО по борьбе с подводным шумом. Новиков Д. О. Труды Крыловского государственного научного центра. 2025, № 413, с. 17-19. Рус.

Объект и цель научной работы. В связи с одобрением Международной морской организацией (ИМО) (англ. International Maritime Organization, IMO) Руководства по снижению под-

водного шума от коммерческого судоходства, направленного на снижение воздействия подводного шума (ПШ) от судоходства на морских обитателей, в настоящей статье рассматриваются возможности конкретизировать диапазоны частот, на которых снижение ПШ актуально, а также анализируются опубликованные материалы по влиянию ПШ на морских животных. Материалы и методы. Анализируются результаты опубликованных экспериментальных исследований, посвященных подводному шуму транспортных судов, а также по влиянию ПШ на морских животных. Основные результаты. Определены диапазоны частот, на которых снижение подводного шума наиболее актуально с точки зрения воздействия на морскую фауну. Также рассмотрено влияние ПШ на животных и оценены расстояния от судна, на которых ПШ безопасен для морских организмов или его воздействие минимально. Заключение. В свете необходимости выполнения Руководства по снижению подводного шума от коммерческого судоходства конкретизируются частотные диапазоны, на которых наиболее актуально снижать шум. Также рассмотрена совокупность уровней ПШ и расстояния от судна, безопасных с точки зрения воздействия. В продолжении работы, которое планируется опубликовать в следующем номере Трудов, будут рассмотрены данные по ПШ ледоколов при выполнении ледовых операций и возможности влияния на этот шум. Ключевые слова: подводный шум, влияние шума на морских животных, частотные диапазоны.

26.01-01.227 Моделирование работы скалярных волновых фильтров — изотропных вейвлетов — в поле пристеночных турбулентных пульсаций давления. Кудашев Е.Б., Яблоник Л.Р. Акустический журнал. 2025. 71, № 5, с. 709-716. Рус.

Проведены расчетные оценки результатов скалярной фильтрации в поле пристеночных турбулентных пульсаций давления под однородным пограничным слоем. Основное внимание уделено работе предельно компактных скалярных волновых фильтров, сформированных из двух приемных элементов — центрального круглого и примыкающего к нему внешнего кольцевого. Такой двухэлементный приемник работает как волновой фильтр и может трактоваться как изотропный вейвлет, если регистрируемый суммарный сигнал при когерентном пульсационном воздействии на элементы равен нулю. Установлено, что двухэлементные фильтры-вейвлеты способны обеспечить удовлетворительное решение задачи оценки характеристик скалярного спектра. Результаты фильтрации близки при различных гладких распределениях локальной чувствительности по радиусу. Внешние диаметры двухэлементных приемников составляют примерно 1.5 длины волны, на которую настроен волновой фильтр. Трехэлементные скалярные волновые фильтры-вейвлеты с двумя кольцевыми элементами и внешним диаметром примерно 2.2 длины регистрируемой волны способны заметно улучшить качество фильтрации в коротковолновой зоне волнового спектра. Отмечена перспективность применения исследованных приемников в задачах пространственного вейвлет-анализа турбулентных полей пристеночных пульсаций давления.

26.01-01.228 Разработка алгоритмов и программного обеспечения векторно-фазовой обработки сигналов для пеленгования подвижных объектов шумоизлучения в реальном масштабе времени. Лосев Г.И. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 23. Рус.

Актуальной задачей гидроакустики является обнаружение подвижных морских объектов в реальном масштабе времени, что особенно важно для задач мониторинга и контроля акустической обстановки в акваториях. Существующие измерительные системы с векторными приемниками показали свою эффективность в задачах определения параметров подводного шумоизлучения объектов, таких как измерение уровней шума и локализация отдельных источников. Однако использованные в них методы требуют значительного времени на постобработку и для оперативного пеленгования подвижных объектов в реальном времени неприменимы. Сложности в пеленговании вызывает широкий частотный диапазон источников: окружающие шумы, эффекты отражений и доплеровские искажения. Целью работы является разработка алгоритмов и программного обеспечения векторно-фазовой обработки сигналов, обеспе-

чивающих пеленгование подвижных объектов шумоизлучения в реальном масштабе времени. Для повышения точности пеленгования предложены адаптивные алгоритмы, включающие пространственную и адаптивную фильтрацию пространственного распределения потоков акустической мощности. Результаты применения векторных приемников с разработанным программным обеспечением подтвердили перспективность предложенных подходов, что подчеркивает необходимость дальнейших исследований и их внедрения. Ключевые слова: гидроакустика, векторно-фазовые измерения, обработка данных в реальном времени, подвижные объекты, адаптивные алгоритмы.

См. также **26.01-01.194**

Акустические измерения параметров океана, дистанционное зондирование, обратные задачи, акустическая томография

26.01-01.229 Восстановление скорости звука, плотности, коэффициента поглощения и его частотной зависимости в многочастотном режиме томографирования. Румянцова О.Д., Шуруп А.С., Зотов Д.И. Акустический журнал. 2025. 71, № 6, с. 866-880. Рус.

Рассматривается стационарная среда, содержащая неоднородности скорости звука, плотности и частотно зависящего коэффициента поглощения. Эти неоднородные акустические характеристики, включая степень частотной зависимости коэффициента поглощения, неизвестны и подлежат восстановлению на основе данных рассеяния на многих частотах. Сначала решением обратной задачи восстанавливается комплексная функция рассеивателя, которая содержит вклады от неоднородностей разных типов; после этого предлагается методика выделения из функции рассеивателя индивидуальных пространственных распределений всех искомым акустических характеристик. Приводятся результаты численного моделирования, иллюстрирующие возможности и ограничения предлагаемой методики при различных уровнях шумов в исходных данных. Показано, что наименьшей помехоустойчивостью обладает результат восстановления показателя степени частотной зависимости коэффициента поглощения. В то же время, восстановление скорости звука, плотности и коэффициента поглощения осуществляется с приемлемой точностью и высокой разрешающей способностью.

26.01-01.230 Пузырьковые облака и акустические аномалии в пограничных слоях океана. Буланов В.А., Стороженко А.В., Корсков И.В. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 18. Рус.

Вовлечение пузырьков в толщу морской воды в поверхностных волнах приводит к появлению пузырьковых облаков, которые при сильном ветре могут достигать значительных глубин. Пузырьки могут также содержаться в придонных слоях в районах выхода подводных газовых факелов. Часто их сопоставляют с наличием газогидратных месторождений либо с выходом газов через трещины в земной коре вблизи активных вулканов. Пограничные слои — приповерхностный и придонный — играют большую роль в структуре океана. В работе обсуждаются методы и экспериментальные результаты по акустике и диагностике пограничных слоев в океане, содержащих двухфазную жидкость с газовыми пузырьками. Показаны возможности акустического зондирования для визуализации сложной структуры, динамики и диагностики аномалий физических свойств пограничных слоев. Представлены и обсуждены типичные экспериментальные результаты, полученные в дальневосточных морях. Показана аномальная структура рассеяния и распространения звука в приповерхностном слое моря, связанная с наличием пузырьковых облаков при сильном ветре. Представлены акустические оценки газа в пузырьковых факелах, выходящих из дна моря, которые согласуются с результатами других авторов, полученных в том числе неакустическими методами *in situ*. Ключевые слова: пузырьковые облака, поглощение, рассеяние звука.

26.01-01.231 Локализация источника звука в волноводе с использованием нейронной сети, обучаемой на данных численного моделирования. Вировлян-

ский А.Л., Казарова А.Ю. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 25. Рус.

Важным направлением современной акустики океана в последние годы стало активное применение методов машинного обучения для решения обратных задач. Одной из таких задач является оценка координат источника звука в волноводе по измерениям его поля с помощью вертикальной приемной решетки. В большинстве работ по данной тематике задача решается с использованием нейронной сети, входными данными которой служат элементы корреляционной матрицы (КМ) поля на решетке. Неизбежная неточность математической модели среды, особенно в условиях многолучевого распространения, ограничивает точность теоретического расчета КМ. Поэтому для обучения нейронной сети приходится использовать данные натуральных измерений КМ на исследуемой акватории для различных положений источника. В докладе обсуждается альтернативный подход, в котором входные данные задаются распределением интенсивности регистрируемого поля в плоскости глубина—угол прихода. Это распределение, которое строится с использованием заимствованного из квантовой теории метода когерентных состояний, менее, чем КМ, чувствительно к неточностям модели среды. Показано, что это обстоятельство в ряде случаев поможет избежать сложной и дорогостоящей процедуры натуральных измерений КМ и обучать нейронную сеть на синтетических (то есть полученных с помощью численного моделирования) данных. Ключевые слова: подводный звуковой канал, вертикальная решетка, когерентные состояния, нейросеть.

26.01-01.232 Сравнение характеристик инварианта Чупрова и фазо-энергетического инварианта в глубоком океане. Аksenov С.П., Кузнецов Г.Н. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 69. Рус.

Для повышения эффективности оценки координат источника и помехоустойчивости обнаружения сигнала на фоне помех применяют различные алгоритмы согласованной или квазисогласованной со свойствами среды обработки. Одно из направлений работ предполагает использование устойчивых к изменению свойств среды волноводных инвариантов или инвариантных соотношений. В течение многих лет для этой цели применяется инвариант Чупрова. Позднее авторами было предложено использовать для указанных выше целей фазо-энергетический инвариант, свойства которого определяются градиентами фазы в зонах интерференционных максимумов и отличаются устойчивостью. В докладе приводятся результаты компьютерного моделирования и оценки инварианта Чупрова и фазо-энергетического инварианта в ближней и дальней зонах акустической освещенности и в зоне тени. Показано, что фазо-энергетический инвариант в зонах освещенности с большой точностью равен «1», а инвариант Чупрова в этих зонах неустойчив и изменяется в широких пределах. В зоне тени оба инварианта изменяются при увеличении расстояния более чем на порядок, но эта зависимость является инвариантной. Ключевые слова: глубокий океан, зоны освещенности и зона тени, зависимости от расстояния и характеристик волновода инварианта Чупрова и фазо-энергетического инварианта.

См. также **26.01-01.193**, **26.01-01.188**, **26.01-01.189**, **26.01-01.203**

Акустика глобальных масштабов, термометрия и дальняя подводная связь

26.01-01.233 Гидроакустическая ультракоротковолновая система позиционирования автономных обитаемых подводных аппаратов. Часть 1. Дранников А.В., Козьмин С.Г., Исаев А.В. *Морской вестник*. 2025, № 3, с. 84-87. Рус.

Данная статья является заглавной из серии подготавливаемых публикаций, посвященных разработке гидроакустического комплекса для проведения подводных работ силами группировки АНПА и корабля-носителя. В составе гидроакустического комплекса реализованы система высокоскоростной подводной связи, представленная вариантом корабельного высокопроизводительного исполнения и, размещаемым на АНПА,

вариантом гидроакустического модема с низким энергопотреблением, и гидроакустическая система позиционирования. Подобный гидроакустический комплекс позволяет проводить подводные работы скрытно и с высокой эффективностью энергопотребления задействованных АНПА. Энергоэффективность и скрытность обеспечиваются за счет исключения необходимости для АНПА подъема на поверхность с целью уточнения своего местоположения, обмена данными и корректировки своей миссии. Выводы 1. Представлены результаты авторских исследований конструкции гидроакустической приемной антенны, полученные при разработке УКБ ГАСП. 2. Показано, что для обеспечения удовлетворительной точности (менее 0,5°) определения пеленга оптимальная конструкция приемной антенны может включать в себя не более восьми приемных элементов.

Активные и пассивные сонарные системы, алгоритмы обработки сигналов

26.01-01.234 Помехоустойчивость пеленгования широкополосных источников скалярными и векторно-скалярными антеннами. Глебова Г.М., Кузнецов Г.Н. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 6, с. 797-810. Рус.

Выполнено сравнение помехоустойчивости алгоритмов пеленгования локального источника линейными скалярными и векторно-скалярными антеннами при различных способах обработки сигналов от приемников давления и приемников колебательной скорости. Расчеты проведены для эквидистантных антенн с равными апертурами и равными межэлементными расстояниями. Расчетным путем и экспериментально показано, что у векторно-скалярных антенн значительно меньше боковое поле, чем у скалярных антенн, а дополнительный максимум, который формируется только при «косых» углах приема, в 3—5 раз меньше, чем «зеркальный» лепесток у скалярных антенн. Установлено хорошее согласие экспериментальных и расчетных пространственных спектров при всех направлениях на источник. Представлено расчетное и экспериментальное обоснование применения векторно-скалярных антенн для однозначного пеленгования источника шума, том числе при косых углах падения фронта волны, как «на столе», так и в режиме буксировки антенны. Показано, что прием сигналов с использованием векторно-скалярных антенн обеспечивает разделение сигналов «по левому и правому борту» и разделение источников, расположенных «в передней и задней полусфере».

26.01-01.235 Моделирование магнестрикционного низкочастотного акустического излучателя для передачи акустического сигнала в сложной ледовой обстановке. Смоленский Е.В., Цзиньцэй И., Вэнь Цзянь Ч., Цзянь Цзюнь Ч. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 8. Рус.

Исследуется потенциал магнестрикционных материалов на основе TbDyFe для создания активных акустических излучателей, предназначенных для работы в сложных ледовых условиях. Цель работы — разработка и численный анализ модели излучателя, обеспечивающего эффективную передачу акустических сигналов в гетерогенной среде «лед—вода». Методология включает численное моделирование в среде для оценки характеристик излучателя, таких как частотная зависимость, амплитудно-фазовые параметры и пространственное распределение акустического поля. Рассмотрен широкополосный импульсный сигнал на основе кодов Голда и с применением OFDM модуляции. Результаты показывают, что магнестрикционный излучатель демонстрирует высокую эффективность в диапазоне 300—1000 Гц, обеспечивая уровень звукового давления до 140 дБ вблизи ледяного покрова. Выявлено, что наличие льда снижает затухание сигнала на 15—20% по сравнению с подледной передачей, что связано с анизотропией распространения волн. Проведен сравнительный анализ с пьезоэлектрическими аналогами, подтвердивший преимущество магнестрикционных материалов в условиях низких температур. Полученные данные подтверждают перспективность разработки гидроакустических систем на основе TbDyFe для мониторинга арктических акваторий и подледной связи. Ключевые слова: магнестрикционные материалы, ледовая обстановка, коды Голда, низкочастотный акустический излучатель.

26.01-01.236 Оптимизация корпуса гидроакустического излучателя, представляющего собой механический трансформатор в виде гофрированной оболочки. *Зимина К.Д., Бахтин В.К., Дерябин М.С., Касьянов Д.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 26. Рус.

Представлен подход к проблеме оптимизации корпуса гидроакустического излучателя, который представляет собой механический трансформатор, выполненный в виде гофрированной бочкообразной оболочки. Целью работы является верификация конечно-элементной модели корпуса гидроакустического излучателя (ГИ) и определение оптимальных параметров конструкции для повышения эффективности излучения в водной среде. Проведено экспериментальное исследование вибрационных характеристик оболочек малых размеров, изготовленных из PLA-пластика методом 3D-печати с использованием лазерного вибрметра. Результаты экспериментов сопоставлены с результатами численного моделирования. Проанализировано влияние параметров гофрирования оболочки на амплитудно-частотные характеристики излучателя. Полученные результаты в дальнейшем будут использованы для оптимизации конструкции ГИ, непосредственно предназначенных для широкого класса гидроакустических приложений. Ключевые слова: гидроакустический излучатель, гофрированная оболочка, механический трансформатор, конечно-элементное моделирование.

26.01-01.237 Измерительные гидрофоны серии ГИ7 и исследование их характеристик. *Хатамтаев Б.И. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 50. Рус.

В настоящее время в Российской Федерации остро стоит вопрос о технологической независимости от импортных средств измерений в различных областях науки. Гидроакустика не стала исключением, в связи с этим во ФГУП «ВНИИФТРИ» были разработаны гидрофоны-аналоги ведущих европейских компаний, таких как «Teledyne RESON A/S» и «Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S». Для обеспечения импортозамещения гидрофонов был разработан и изготовлен комплект отечественных гидроакустических преобразователей ГИ7. Исследованы характеристики гидрофонов серии ГИ7 и проведен сравнительный анализ с гидрофонами серии ТС40 (фирма «Teledyne RESON A/S»). Ключевые слова: гидроакустический преобразователь, чувствительный элемент, диапазон рабочих частот, чувствительность на прием.

26.01-01.238 Исследование аспектов практического применения векторно-скалярного приёмника в режиме шумопеленгования. *Машошин А.И., Мельникович В.С. Подводные исследования и робототехника.* 2025, № 3, с. 4-14. Рус.

Целью работы является рассмотрение аспектов практического применения комбинированных (векторно-скалярных) приёмников (КП) в распределённых гидроакустических системах подводного наблюдения при их функционировании в режиме шумопеленгования. Оценена помехоустойчивость КП в изотропном поле помех. Осуществлён выбор наиболее информативного частотного диапазона для обнаружения малозумных подводных объектов (МПО). Оценены ширина характеристики направленности КП и среднеквадратическая погрешность пеленгования локального источника при применении алгоритмов пространственной обработки Бартлетта и Кейпона. Приведён алгоритм обнаружения и классификации МПО, основанный на обнаружении и анализе вально-лопастных звуковых дискретных составляющих в инфразвуковом диапазоне частот. Показано, что этот алгоритм также позволяет обнаруживать МПО при воздействии на вход КП шумов посторонних объектов. Рассмотрен алгоритм обнаружения МПО в звуковом диапазоне частот в условиях воздействия на вход КП мощной локальной помехи, заключающийся в корректировке спектрально-корреляционной матрицы сигналов на выходе приёмных каналов КП путём уменьшения значения её старшего собственного числа.

26.01-01.239 Статистический анализ данных измерений на глубоководной автономной буйковой станции в центральной части Японского моря. *Трусенкова О.О., Лобанов В.В., Ладыченко С.Ю., Каплуненко Д.Д., Чанг К.И. Подводные исследования и робототех-*

ника. 2025, № 3, с. 15-30. Рус.

Выполнен статистический анализ уникальных данных, полученных на глубоководной автономной буйковой станции (АБС), установленной в центральной части Японского моря к северо-востоку от подия Ямато на глубине 3375 м в период с 22 апреля 2014 г. по 13 апреля 2015 г. Выводы о динамике вод сделаны по косвенным данным — глубине и наклону приборов, жестко укрепленных на тросе, отклонявшемся от вертикали под воздействием течений. Пространственная картина течений рассматривалась по данным спутниковой альтиметрии и спутниковым изображениям в инфракрасном диапазоне. Масштабы временной изменчивости в термоклине оценены по вейвлет-спектру температуры, а для всей толщи вод — по совместному вейвлет-спектру глубины и температуры. Поведение АБС претерпело резкое изменение через три месяца после постановки. Если в начальный период были характерны слабо выраженные колебания глубины приборов, то 28 июля 2014 г. произошел переход к значительным вертикальным смещениям, по-видимому, связанным с интенсификацией воздействия течений при уменьшении плавучести АБС в придонном слое. Переход сопровождался скачками глубины приборов до 80 м за несколько часов. В дальнейшем происходили согласованные колебания глубины приборов с размахом до 50–100 м, а в конце марта—начале апреля 2015 г. — до 150–250 м. Процессы на масштабах 8–13 сут. протекали в верхнем и глубинном слоях, в основном независимо, а в апреле 2015 г. согласованно, причем 4–7 апреля через точку АБС прошел крупный антициклонический вихрь, затронувший всю толщу вод. В январе 2015 г. наблюдались квазинерционные колебания вплоть до глубинного слоя, что объясняется сильным ветром в этот период, интенсивным конвективным перемешиванием и воздействием динамических структур синоптического масштаба. Выявлен положительный тренд придонной температуры воды.

26.01-01.240 Экспериментальные исследования работы скалярно-векторного приемника звука в режимах обнаружения и пеленгования источника подводного шума. *Матвиенко Ю.В., Хворостов Ю.А., Каморный А.В. Подводные исследования и робототехника.* 2025, № 3, с. 31-39. Рус.

Описан эксперимент в мелководной акватории по приему сигналов движущегося подводного источника шумовых сигналов скалярно-векторным приемником, размещенным на борту стационарной донной станции. Проанализированы отношения сигнал/помеха в векторных и скалярном каналах приемника на различных дальностях источника. Отмечены существенно различные уровни анизотропной помехи в каналах приемника и возможность достижения выигрыша в 6–10 дБ в отношении сигнал/помеха векторным каналом с минимальными значениями действующей анизотропной помехи относительно скалярного канала. Выполнен анализ углового прихода энергии шумоизлучения источника в течение его движения, показана возможность разделения дополнительных объектов шумоизлучения в контролируемой акватории и по угловому положению и составу излучаемого спектра.

26.01-01.241 Методы и средства измерения кинематических характеристик акустических волноводов. *Камачев С.И. Подводные исследования и робототехника.* 2025, № 4, с. 77-83. Рус.

Рассматриваются методы и средства измерения кинематических характеристик акустического волновода — таких, как фазовая и групповая скорости, а также инвариант пространственно-частотной структуры акустического поля, предложенный в работах С.Д. Чупрова. В настоящее время активизировались работы по использованию и уточнению последнего применительно к таким задачам гидроакустики, как обнаружение слабых сигналов, оценка расстояния до источника и др. Обсуждаются результаты модельных и натуральных экспериментов по оценке кинематических характеристик волновода с помощью таких средств, как акустические интерферометры, вертикальные антенны и векторные приёмники. Технические средства разработаны в отделе технических средств исследования океана ТОИ ДВО РАН.

См. также **26.01-01.228**

Гидроакустические преобразователи и антенны

См. 26.01-01.234, 26.01-01.238, 26.01-01.239, 26.01-01.240, 26.01-01.241

Подводные измерения и калибровка аппаратуры

26.01-01.242 Изменения параметров пассивного акустического обнаружителя, вызванные нестационарностью помех. *Егоров С.В., Горбачев Р.И., Кириченко А.Н. Морские интеллектуальные технологии.* 2025, № 4-1, с. 281-286. Рус.

В условиях значительных изменений уровня помех, шумов моря и дальнего судоходства, для стабилизации параметров пассивного акустического обнаружителя в его приемном тракте применяется автоматическая регулировка усиления (АРУ). Однако АРУ лишь сужает диапазон изменения уровня помехи на выходе приемного тракта, поэтому изменения параметров обнаружителя сохраняются и становятся существенными при повышении его аппаратной чувствительности. Для оценки этих изменений и обоснования требований к АРУ в работе получены функциональные соотношения между изменением уровня помехи на выходе приемного тракта и отклонениями от номинальных значений вероятностных параметров и аппаратной чувствительности двухпорогового энергетического обнаружителя. Анализом полученных соотношений показано, что при обосновании требований к стабильности уровня помехи на выходе приемного тракта целесообразно в качестве исходного задавать допустимое изменение аппаратной чувствительности обнаружителя. Ключевые слова: пассивный акустический обнаружитель, нестационарная помеха, стабилизация параметров обнаружителя.

26.01-01.243 Гидростатическое сжатие толстостенной сферической оболочки при нелинейном законе упрочнения. *Андреанов И.К., Чепурнова Е.К. Морские интеллектуальные технологии.* 2025, № 4-3, с. 169-174. Рус.

Исследование посвящено вопросу оценки напряженного состояния толстостенной сферической оболочки, работающей в условиях гидростатического сжатия. Новизна исследования обусловлена тем, что полученное решение позволяет учесть нелинейную зависимость интенсивности напряжений от интенсивности деформаций при описании диаграммы деформирования материала. Полученное решение строилось на основании положений теории упругости и деформационной теории пластичности для несжимаемого материала, а также путем применения метода переменных параметров упругости. По результатам решения тестовой задачи с использованием геометрических параметров батисферы получено распределение интенсивностей напряжений, радиальных и окружных напряжений по толщине стенки оболочки. Согласно полученным результатам наибольшие по абсолютной величине значения интенсивности напряжений достигаются на внутренней границе оболочки. Представленные результаты позволяют более точно оценить гидростатическое давление на внешней поверхности оболочки, при котором зарождаются первые пластические деформации, а также когда вся стенка оболочки переходит в область пластического деформирования, учитывая нелинейный закон упрочнения. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании корпуса глубоководных аппаратов по типу батисферы, испытывающих экстремальные значения гидростатического давления. Ключевые слова: толстостенная сферическая оболочка, батисфера, гидростатическое сжатие, нелинейный закон упрочнения, упругопластическое деформирование, напряженное состояние. Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научно.

26.01-01.244 Исследование аспектов практического применения векторно-скалярного приёмника в режиме гидролокации. *Машишин А.И., Мельканович В.С. Подводные исследования и робототехника.* 2025, № 4, с. 22-30. Рус.

Целью работы является рассмотрение аспектов практическо-

го применения комбинированных (векторно-скалярных) приёмников (КП) в режиме гидролокации в распределённых гидроакустических системах подводного наблюдения. Показано: обнаруживать малозумные подводные объекты (МПО) в режиме гидролокации целесообразно в диапазоне 1,5—2,0 кГц; для обнаружения МПО должны применяться длинные тональные зондирующие сигналы и сложные сигналы, построенные на кодах Костаса; алгоритм обнаружения эхосигналов должен одновременно обнаруживать сигналы приборов помех и других сильно шумящих объектов и осуществлять их подавление, причём все процедуры, включая обнаружение и подавление, должны осуществляться на интервале длительности эхосигнала; обнаружение эхосигналов целесообразно осуществлять одновременно с использованием линейного алгоритма Бартлетта, обеспечивающего наибольшую помехоустойчивость при обнаружении слабых сигналов, и адаптивного алгоритма Кейпона, обладающего свойством сверхразрешения; подавление сильных локальных сигналов, маскирующих эхосигналы, целесообразно осуществлять с использованием известного компенсационного алгоритма с учётом замены накопления корреляционных матриц во времени на накопление по частоте.

26.01-01.245 Акустическая диагностика состояния конструкции при воздействии гидростатического давления. *Горшонов А.С., Костылев К.А., Салин М.Б., Усачева И.А. Подводные исследования и робототехника.* 2025, № 4, с. 51-62. Рус.

Статья посвящена разработке и верификации метода оценки виброакустических характеристик подводных аппаратов, находящихся под воздействием внешнего гидростатического давления. При эксплуатации глубоководных сооружений и оборудования, таких как водолазные камеры и подводные конструкции, особую важность приобретает контроль их технического состояния для обеспечения надёжности, безопасности и долговечности. Представленный подход основан на использовании конечноэлементного моделирования для анализа изменений жесткости и акустических характеристик конструкций, обусловленных возникновением напряженно-деформированного состояния под нагрузкой. В работе выполнена проверка методики на примере модели герметичной цилиндрической оболочки, подвергающейся регулируемым нагрузкам в камере высокого давления для имитации глубоководной среды. Результаты демонстрируют возможность выявления признаков изменения структурной целостности и оценки степени повреждений через спектральный анализ акустического излучения. Предложенный подход обладает потенциалом для неразрушающего контроля и может применяться для диагностики как отдельных элементов конструкций, так и комплексных систем, что расширяет его практическое использование в подводной технике и гражданском строительстве.

26.01-01.246 Мультистатическая обработка в режиме гидролокации. *Молчанов П.А., Малащенко А.Е. Подводные исследования и робототехника.* 2025, № 4, с. 63-67. Рус.

Современные технические решения, применяемые в автономных быстро разворачиваемых гидроакустических станциях, позволяют оперативно создавать контролируемые морские зоны и рубежи в сложных гидролого-акустических условиях с применением группы станций с совместной обработкой гидроакустической информации в мультистатическом режиме. Выигрыш от применения мультистатической системы обычно рассматривается в режиме шумопеленгования, а в режиме гидролокации рассматривается только выигрыш от бистатической локации. Однако применение мультистатической обработки в режиме гидролокации дает выигрыш как в увеличении вероятности обнаружения и распознавания объекта наблюдения, так и в точности определения его комплексных параметров движения. В статье рассматривается этот эффект на примере автономных (или кабельных) гидроакустических станций со звукопрозрачными приемными антеннами цилиндрического типа. Достижимое при мультистатической обработке информации увеличение вероятности обнаружения и точности определения комплексных параметров движения объекта наблюдения в контролируемой зоне может быть использовано как для снижения требований к эффективности гидроакустических станций (за счет

уменьшения числа элементов приемной антенны), так и для уменьшения потребляемой мощности станции за счет сокращения времени гидроакустической информации накопления.

См. также 26.01-01.79, 26.01-01.189, 26.01-01.226, 26.01-01.239, 26.01-01.241

Компьютерное моделирование в гидрофизике и гидроакустике

26.01-01.247 Алгоритм определения положения равновесия морского объекта в условиях морского волнения. *Дегтярев А.Б., Гончарук Д.Д., Бусько И.В. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 6, с. 1950. Рус.

Представлен алгоритм приближенного определения положения равновесия динамического объекта, совершающего колебательные движения под действием нескольких внешних воздействий. В качестве примера рассматривается качка морского объекта под действием волн и ветра.

См. также 26.01-01.49, 26.01-01.54, 26.01-01.229

Лабораторное экспериментальное моделирование

Атмосферная и аэроакустика

26.01-01.249 Моделирование рассеяния инфразвуковых сигналов на анизотропных неоднородностях атмосферы. *Чунчузов И.П., Попов О.Е., Куличков С.Н., Перепелкин В.Г. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 9. Рус.

Исследуется влияние анизотропных неоднородностей скорости ветра и температуры на формы и интенсивности инфразвуковых сигналов от наземных взрывов и метеоритов. Инфразвуковое поле сигналов рассчитывается с помощью метода псевдо-дифференциального параболического уравнения (ППУ) как функция высоты приемника или высоты точечного источника (фрагментация метеорита) и горизонтального расстояния от источника. Для расчетов используются вертикальные реализации флуктуаций эффективной скорости звука, меняющиеся с ростом горизонтального расстояния от источника, полученные из нелинейной модели их формирования. Для наземных взрывов исследованы вертикальные спектры флуктуаций интенсивности инфразвукового поля в стратосфере (высоты 30–40 км) и мезосфере (50–70 км) в зависимости от расстояния от источника (до 2200 км). Обнаружены эффекты локализации полей в определенных слоях атмосферы, вызванные наличием тонкой слоистой структуры атмосферы. Впервые исследовано влияние тонкой слоистой структуры атмосферы на формы и длительности инфразвуковых сигналов, генерируемых метеоритами при их фрагментации на разных высотах, от 100 км до 35 км. Работа поддержана Министерством Науки и Высшего Образования Российской Федерации, проект FMWR-2025-0005. Ключевые слова: анизотропные флуктуации, рассеяние инфразвука, локализация полей, фрагментация метеоритов.

26.01-01.250 Об эффекте сейсмической волны Рэлея в атмосфере от землетрясения на Тайване 3 апреля 2024 г. *Сорокин А.Г., Добрынин В.А., Ойнац А.В., Подлесный А.В., Цедрик М.В. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 10. Рус.

Представлены результаты анализа отклика атмосферы в инфразвуковом диапазоне частот на поверхностную сейсмическую волну Рэлея от землетрясения $M=7.7$ на Тайване 3 апреля 2024 г. В статье описаны характерные параметры зарегистрированного инфразвукового сигнала, проведен сравнительный анализ подобных событий на Аляске в 1964 г. с $M\sim 9.0$; Северной Суматре в 2004 г. с $M\sim 9.0$; в Тохоку в 2011 г. с $M\sim 9.0$. В представленной работе анализируется появление акустическо-

26.01-01.248 Моделирование конвективных вихревых структур на склоне: от зарождения и распространения в стратифицированной среде до взаимодействия с внутренними волнами. *Физический эксперимент в термостратифицированном бассейне. Родионов А.А., Ванкевич Р.Е., Лобанов А.А., Шпилев Н.Н. Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2025. 18, № 4, с. 8-19. Рус.

В термостратифицированном бассейне СПбФ ИО РАН исследуется уединенное гравитационное течение над наклонным дном. В рамках приближенного к реальным природным условиям лабораторного эксперимента проведены предварительные исследования сложных, нелинейных процессов взаимодействия придонного плотностного течения, стратификации и внутренних волн. Рассматривается полный жизненный цикл образующихся вихревых структур: от зарождения на склоне, развития и распространения в стратифицированной среде до их взаимодействия с полем внутренних волн. В ходе экспериментов получены эмпирические данные для верификации негидростатической модели с пространственным разрешением, позволяющим явным образом воспроизводить отдельные конвективные струи и вихри.

См. также 26.01-01.54, 26.01-01.219, 26.01-01.239, 26.01-01.242, 26.01-01.243, 26.01-01.244, 26.01-01.247

го отклика в атмосфере в рамках существующего представления о формировании акустической волны на границе раздела грунта и земной атмосферы. Обсуждается появление отклика ионосферных слоев на систему сейсмических P, S и волн Рэлея. Ключевые слова: атмосфера, акустическая волна, землетрясение, Рэлея волна, ионосферный отклик.

26.01-01.251 Адиабатический шум в теории турбулентности. *Юшков В.П. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 10. Рус.

Показано, что будущее развитие теории турбулентности должно быть направлено на анализ не только вихревой несжимаемой, но и адиабатической компоненты, прежде всего флуктуаций плотности и давления. Предлагается уравнение, связывающее генерацию и выравнивание флуктуаций энтропии лагранжевых (воздушных) частиц со скоростью генерации адиабатических флуктуаций. Случайный источник в этом уравнении связывается с полем скорости диссипации и радиационного баланса. Флуктуации давления сопоставляются с флуктуациями потенциально доступной энергии. По измерениям в атмосферном пограничном слое оценивается постоянная скорости выравнивания флуктуаций энтропии. Эта постоянная позволяет связать интегральный пространственный масштаб турбулентных вихрей со среднеквадратичным отклонением флуктуаций скорости звука в атмосферном пограничном слое. Построены оценки амплитуды адиабатического шума в турбулентной среде и показана связь его энергии с временем стационарности и временем корреляции флуктуаций вихревой компоненты скоростей. Ключевые слова: турбулентность, адиабатические флуктуации, потенциально доступная энергия, скорость диссипации флуктуаций скорости звука.

26.01-01.252 Акустический мониторинг вулканической активности на полуострове Камчатка. *Будилов Д.И., Чунчузов И.П., Попов О.Е. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 11. Рус.

Инфразвуковой метод исследования вулканической активности является дистанционным методом мониторинга, который позволяет исследовать динамику процессов извержения, протекающих в отдаленных, труднодоступных местах. Рассматривается сеть инфразвуковых датчиков, установленных на станциях Камчатского филиала ФИЦ "Единая геофизическая служба РАН позволяющая регистрировать инфразвуковые сигналы вулканов полуострова Камчатка и Курильской островной гря-

ды. Мониторинг инфразвуковых сигналов рассматривается как один из методов оценки пепловой опасности для авиации в период сильных вулканических извержений в регионе. Приводятся примеры записей инфразвуковых сигналов от вулканических событий с описанием характеристик сигналов и их связи с процессом извержения. Рассматриваются инфразвуковые сигналы, зарегистрированные в периоды извержений вулканов Алаид, Камбальный, Эбеко, Райкоке, Шивелуч и Безымянный в 2016–2025 гг. Мощные инфразвуковые сигналы вулканов могут использоваться для решения задач зондирования атмосферы, в том числе для оценки тонкой структуры атмосферы в тропосфере и стратосфере. Предлагаются варианты размещения инфразвуковых датчиков для решения задач мониторинга вулканической активности и задач зондирования атмосферы. Ключевые слова: инфразвук, вулканизм, извержение, пепловая опасность.

26.01-01.253 **Временная и территориальная изменчивость характеристик микробаром в континентальных и прибрежных регионах РФ.** *Русаков Ю.С. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 11. Рус.

Проанализированы результаты многолетних наблюдений и пеленга инфразвуковых волн в части выделения и регистрации сигнала микробаром в 6 континентальных и прибрежных районах РФ. География инфразвукового мониторинга охватывала северный, северо-западный, центральный и южный регионы ЕТР, Якутию и Камчатку. Период наблюдений продолжался с 2015 до 2025 г. Количественно определены основные характеристики микробаром (статистика амплитуд, азимутов, частотных спектров) для каждого региона. Существенные отличия настоящей работы от работ аналогичной направленности, кроме географического аспекта и статистической обеспеченности, включали повышенную чувствительность и точность пеленга микробаром благодаря оптимизированным характеристикам использованных инфразвуковых станций и методу обработки сигнала. В результате повторяемость регистрации микробаром на ЕТР достигала 90 и 40% для холодного и теплого времени года соответственно. Неожиданной особенностью микробаром на ЕТР явилась аномально вытянутая «роза» азимутов прихода микробаром, указывающая на единственность их источника в районе северной Атлантики. При этом надежно регистрируемые изменения азимута прихода микробаром с периодами от нескольких часов до недель, вероятнее всего, отражают изменения в структуре средней атмосферы, что может быть использовано при практической реализации ее инфразвуковой томографии. Ключевые слова: инфразвук, микробаромы, инфразвуковые станции, геофизический мониторинг.

26.01-01.254 **Состояние и тенденции развития систем акустического зондирования атмосферы.** *Красненко Н.П., Раков А.С., Рыбаков И.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 12. Рус.

Представлен обзор современных достижений в разработках систем и технологий дистанционного акустического зондирования атмосферы. Рассматриваются акустические наземные системы для исследования и мониторинга структуры и динамики атмосферного пограничного слоя, измерения высотных профилей метеорологических параметров и характеристик турбулентности. Дается описание построения акустических локоаторов, технологий их использования. Приводятся характеристики существующих систем зондирования и их области применения. Обсуждаются их преимущества и недостатки. Ключевые слова: акустическое зондирование атмосферы, обзор современных достижений.

26.01-01.255 **Автокомпенсация активных помех в системах акустического зондирования атмосферы.** *Красненко Н.П., Рыбаков И.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 12. Рус.

Представлена разработка автокомпенсатора помех для систем акустического зондирования атмосферы, основанного на использовании в них антенной решетки. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения точности измерений атмосферных параметров (термической структуры, скорости ветра, турбулентности) в условиях воздействия внешних шумов и помех, искажающих акустические сигналы. Пред-

ложенное решение направлено на подавление помех за счет пространственно-временной обработки сигналов с применением адаптивных алгоритмов. В основе метода лежит использование многоканальной приемной системы, которая позволяет минимизировать влияние мешающих источников по боковым лепесткам диаграммы направленности за счет пространственной фильтрации. Описан адаптивный алгоритм наименьших средних квадратов для компенсации помех. Результаты демонстрируют снижение уровня помех на 15–20 дБ при сохранении полезного сигнала, что подтверждает эффективность подхода. Предложенный метод может быть применен в указанных системах зондирования для повышения эффективности их работы. Ключевые преимущества решения — высокая помехоустойчивость, автоматизация процессов компенсации и масштабированность для различных конфигураций зондирующих систем. Ключевые слова: автокомпенсатор помех, весовые коэффициенты, подавление помех, активные помехи.

Механизмы, влияющие на распространение звука в воздухе

См. **26.01-01.45**, **26.01-01.75**, **26.01-01.106**

Инфразвуковые и акустико-гравитационные волны

См. **26.01-01.101**, **26.01-01.106**

Взаимодействие звука с поверхностью, учет покрытия и топографии, импеданс поверхностей на местности

См. **26.01-01.45**

Распространение и рассеяние на турбулентности и на неоднородных течениях

26.01-01.256 **Характеристики звукового удара в условиях сильной атмосферной турбулентности на примере демонстратора сверхзвукового гражданского самолета.** *Корунов А.О., Вахня С., Усов Л.А., Трошин А.И., Горбовской В.С. Акустический журнал.* 2025. 71, № 6, с. 835-854. Рус.

На основе точного в рамках линейной акустики движущихся сред волнового уравнения получено скалярное уравнение, описывающее акустическое давление в приземном слое атмосферы. Получены главные приближения для эффектов дифракции и переноса возмущений турбулентными пульсациями в приземном слое. На их основе сформированы модели типов HOWARD и ХЗК. Уравнение типа ХЗК в двумерной постановке применено к задаче расчета характеристик звукового удара от разрабатываемого в ЦАГИ демонстратора сверхзвукового гражданского самолета «Стриж» в условиях сильной турбулентности в приземном слое атмосферы, представленной пульсациями скорости. Достигнуты сеточная и статистическая сходимость результатов моделирования. Трехскачковая структура передней части профиля избыточного давления от демонстратора приводит к малому изменению амплитуды и существенному снижению громкости в метрике PL по сравнению с результатами, полученными для N-волн в сходных условиях.

См. также **26.01-01.227**

Численные методы для акустики атмосферы

См. **26.01-01.101**, **26.01-01.229**, **26.01-01.256**

Ударные и взрывные волны, звуковой удар

26.01-01.257 **Асимптотическая теория нестационарных упругих волн в оболочках вращения при ударных торцевых воздействиях изгибающего типа.** *Кириллова И.В. Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Се-*

рия: *Математика. Механика. Информатика*. 2025. 25, № 1, с. 80-90. Рус.

Работа посвящена завершению построения асимптотической схемы расчленения нестационарного напряжённо-деформированного состояния тонкостенных оболочек вращения при ударных торцевых нагрузках изгибающего типа на составляющие с различными показателями изменчивости по пространственным координатам и динамичности по времени. Используются разработанные ранее асимптотически приближённые уравнения таких составляющих, как изгибная составляющая по теории Кирхгофа—Лява, высокочастотная антисимметричная коротковолновая составляющая и антисимметричный гиперболический погранслой в окрестности фронта волны расширения. Доказана полнота описания нестационарных волн с помощью указанных компонент. Для этого выделены в фазовой плоскости области согласования соседних составляющих. Найдены асимптотические оценки границ этих областей согласования и доказано совпадение там асимптотик разрешающих уравнений.

См. также **26.01-01.91**, **26.01-01.256**

Звук в трубах с потоками

26.01-01.258 Исследование низкочастотных колебаний в условиях неоднородной тепловой конвекции. *Бобров М.С., Хребтов М.Ю.* *Теплофиз. и аэромех.* 2025, № 4, с. 617-634. Рус.

Представлены результаты исследования влияния горизонтального градиента температуры поверхности на динамику теплового конвективного потока с помощью прямого численного моделирования (DNS). Проведена серия расчетов при умеренных числах Рэлея (10^5 — 10^8). Расчетная область имела прямоугольную форму с двумя горизонтальными стенками с заданной разницей средних температур между ними, приводящей к формированию свободно-конвективного течения. Температура на нижней стенке имела неоднородное распределение вдоль одной из горизонтальных осей. Образующиеся за счет вертикального градиента плотности конвективные ячейки находились под воздействием слабого горизонтального градиента температуры, что приводило к их деформации и переносу к центральной оси расчетной области. В результате наблюдались интенсивные когерентные горизонтальные колебания положения центрального восходящего потока на низкой частоте. Эта частота слабо зависела от числа Рэлея, а амплитуда колебаний росла с его увеличением. Данный эффект возникновения низкочастотных колебаний не проявится в двумерном моделировании и возникает в результате взаимодействия соседних трехмерных конвективных ячеек, попадающих в центральный восходящий поток. Авторами предложена асимптотическая оценка для периода этих колебаний. Показано, что колебания не исчезают с ростом числа Рэлея, что дает основание ожидать их влияния на тепломассоперенос в природных течениях.

См. также **26.01-01.46**

Измерения звука в воздухе, методы и аппаратура для локации, навигации, альтиметрии, акустического районирования

См. **26.01-01.258**

Аппаратура и методы для измерения атмосферных параметров, ветра, турбулентности, температуры, загрязняющих выбросов

26.01-01.259 Модификации k — ϵ модели турбулентности для моделирования ударно-волновых течений. *Стаценко В.П., Третьяченко Ю.В., Янилжин Ю.В.* *Мат. моделир.* 2025. 37, № 6, с. 143-165. Рус.

В методике ЭГАЗ в эйлеровых переменных реализована k — ϵ модель турбулентного перемешивания с несколькими ограни-

чениями на генерацию турбулентности. С помощью этой методики проведено исследование эволюции турбулентности как на границе раздела двух различных газов, так и в однородной среде. Результаты расчетов сравниваются с соответствующими измерениями в опытах. Анализируется вопрос о применимости того или иного ограничения в разных задачах.

Авиационная акустика

26.01-01.260 Исследование влияния вихрей Кармана на колебания флюгерного чувствительного элемента датчика аэродинамических углов. *Солдаткин В.М., Солдаткин В.В., Ефремова Е.С., Разумов И.А., Истомин Д.А.* *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*. 2025, № 4, с. 16. Рус.

Отмечена важность достоверной информации об аэродинамических углах атаки и скольжения для решения задач пилотирования, автоматического управления, обеспечения безопасности полета самолетов и других летательных аппаратов (ЛА). Указано, что широкое применение для измерения аэродинамических углов получили флюгерные датчики аэродинамических углов (ДАУ), выполненными на основе флюгеров с различными формами и параметрами. Показано, что в процессе эксплуатации на флюгерный чувствительный элемент ДАУ кроме внешних атмосферных возмущений оказывают неблагоприятное воздействие вихри Кармана, образуемые из-за периодического срыва потоков со смежных обтекаемых поверхностей флюгера. Это определяет важность материалов статьи по формированию математического аппарата для моделирования и исследования влияния вихрей Кармана на колебание флюгерного чувствительного элемента ДАУ, для обнаружения и уменьшения амплитуды колебаний, обусловленных влиянием вихрей Кармана. Ключевые слова: аэродинамические углы, измерение, датчик, вихри Кармана, чувствительный элемент, колебания, моделирование.

26.01-01.261 Влияние вибрации на процесс создания преформ с плетеной структурой армирования элементов конструкций ЛА. *Ибрагимов М.Р., Усмонов Р.С., Батраков В.В.* *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*. 2025, № 4, с. 18. Рус.

Работа посвящена определению влияния вибрации на степень покрытия преформы с биаксиальной схемой армирования. Для этого был проведен эксперимент, результаты которого позволили определить рабочий диапазон частот вибрации с значениями степени покрытия преформы в рабочем поле 0,93-1. Ключевые слова: радиальное плетение, степень покрытия, ширина ровинга, вибрация.

26.01-01.262 Акустическая неустойчивость кругового вихря со сглаженным профилем завихренности в дозвуковом и сверхзвуковом случае. *Копьев В.Ф., Чернышев С.А.* *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5, с. 695-708. Рус.

Известно, что возмущения локализованного вихря могут обладать двумя специфическими механизмами взаимодействия с окружающим потоком. Первый связан с потерей энергии течением, что при отрицательной энергии вихревых возмущений приводит к неустойчивости. Второй представляет собой майлсовский механизм взаимодействия колебаний вихревого ядра с возмущениями в окрестности критического слоя (линия тока, на которой фазовая скорость возмущений совпадает со скоростью среднего течения), сопровождающийся потоком энергии из этой окрестности, приводящим в случае отрицательной энергии колебаний к их демпфированию (и, наоборот, к майлсовской неустойчивости при положительной энергии возмущений ядра). Впервые рассмотрено течение, в котором оба этих механизма реализуются одновременно. Для этого рассматриваются возмущения круговых вихрей с отрицательной энергией, для которых реализуются как акустическая неустойчивость, так и майлсовское демпфирование. Показано, что в случае слабой сжимаемости майлсовский механизм может полностью подавить акустическую неустойчивость, однако в случае более сильной потери энергии за счет акустического излучения, акустическая неустойчивость будет доминировать. Аналитически исследовано влияние различных параметров на пе-

речисленные эффекты и установлен количественный критерий акустической неустойчивости вихря со сглаженным профилем завихренности. Рассмотрен эффект акустической неустойчивости в случае больших скоростей в ядре вихря, включая сверхзвуковое течение. Скорость потока усиливает инкремент акустической неустойчивости за счет более эффективного излучения звука, что делает возможным неустойчивость вихрей с более сильной сглаженностью. Этот эффект показывает, что поведение вихревых структур в высокоскоростных струях может принципиально отличаться от случая, характеризующегося малым числом Маха, и интенсифицировать за счет акустической неустойчивости колебания вихрей, которые в дозвуковом случае характеризуются сильным демпфированием. Показано также, что в несжимаемом течении с вихрем, ограниченным импедансными стенками, реализуется альтернативный акустическому механизм потери энергии. В этом случае майлсовское демпфирование также может быть преодолено, причем в отличие от механизма, реализуемого уходящими акустическими волнами, потеря энергии вихрем за счет поглощения стенками цилиндра может быть существенно более эффективной, что приводит к расширению области неустойчивости на течения с более гладкими профилями завихренности.

26.01-01.263 Параметрическое исследование характеристик шума нагретых дозвуковых струй. *Бычков О.П., Копьев В.Ф., Фараносов Г.А., Чернышев С.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 52. Рус.

Для предварительных оценок шума на местности создаваемых или модернизируемых самолетов необходимо иметь представление обо всех его значимых источниках. Для самолетов с реактивными двигателями одним из таких источников является турбулентная струя, истекающая из сопла двигателя. Струи реальных двигателей являются нагретыми, и этот фактор необходимо учитывать при моделировании. Известно, что нагрев струи увеличивает ее шум при фиксированном перепаде давления не только за счет увеличения скорости истечения, но и за счет появления дополнительного источника шума, связанного с колебаниями плотности газа. Возможность экспериментального исследования этих эффектов появилась благодаря модернизации заглушенной камеры АК-2 ЦАГИ, где была впервые продемонстрирована дипольная структура источника шума для низкоскоростных струй. В работе представлены результаты измерений акустических характеристик нагретых струй и их анализ в широком диапазоне дозвуковых скоростей истечения (акустическое число Маха $0.4 \leq M_a \leq 0.7$) и температур нагрева (температура).

26.01-01.264 Экспериментальное исследование шума обтекания тематической модели крыла сверхзвукового гражданского самолета на режиме посадки. *Копьев В.Ф., Зайцев М.Ю., Беляев И.В., Wang Yong, Zhao Kun.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 54. Рус.

Шум обтекания элементов конструкции планера является одним из основных источников шума современных дозвуковых самолетов на режиме посадки. Для сверхзвуковых гражданских самолетов (СГС) экспериментальные исследования шума планера в контролируемых условиях практически не проводились, поэтому количественная оценка вклада шума планера СГС в общий шум СГС на режиме посадки является затруднительной. В работе впервые были выполнены экспериментальные исследования шума обтекания тематической модели механизированного крыла СГС, проведенные в маломасштабных испытаниях в заглушенной камере АК-2 ЦАГИ и в крупномасштабных испытаниях в FL-17 CARDC. В качестве тематической модели использовалось крыло C608 NASA с различными отклонениями закрылков. Получены параметрические зависимости уровня шума и диаграммы направленности шума обтекания крыла СГС от различных скоростей потока и углов отклонения закрылков. Данные результаты позволяют уточнить существующие полуэмпирические модели шума обтекания крыла, развить новые модели шума обтекания крыла СГС и уточнить оценки вклада шума обтекания крыла в шум на местности разрабатываемых перспективных СГС. Ключевые слова: шум обтекания, шум крыла, сверхзвуковой гражданский самолет.

26.01-01.265 Особенности ближнего звукового поля винта. *Фараносов Г.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71,

№ 5S, с. 54. Рус.

Воздушный винт является мощным источником тонального шума, который необходимо учитывать при оценке шума на местности различных летательных аппаратов. Характеристики тонального шума весьма чувствительны к концевому числу Маха, числу и геометрии лопастей. В работе на примере простой модели рассматриваются физические аспекты некоторых свойств тонального шума винтов, а также возможные механизмы шума взаимодействия винтов и элементов конструкции планера. Ключевые слова: шум винта, вращающийся источник, волны Маха.

26.01-01.266 Численное исследование задачи о вращении ненагруженного винта в набегающем потоке с образованием импульсного шума. *Акиншин Р.В., Фараносов Г.А., Титарев В.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 54-55. Рус.

Исследуется задача о вращении двухлопастного винта с нулевым углом установки лопастей в набегающем потоке. Геометрия лопастей создана на базе профиля ВНТ-540. Исследование проводится на основе численного решения уравнений Эйлера с помощью собственного пакета программ Акустического отделения ЦАГИ. Характерным моментом для такой задачи является образование трансзвукового течения на наступающей лопасти, что приводит к образованию импульсного шума. Основной целью работы является исследование аэроакустических характеристик импульсного шума в зависимости от параметров задачи. Ключевые слова: импульсный шум, трансзвуковое течение, численное решение.

26.01-01.267 Сравнение различных подходов к моделированию распространения ударных волн вдоль канала воздухозаборника. *Юдин М.А., Копьев В.Ф., Фараносов Г.А., Чернышев С.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 55. Рус.

Одним из источников шума современного двигателя является вентилятор, который оказывается особенно заметным при высоких скоростях вращения, когда реализуется сверхзвуковое обтекание концов лопаток и появляется система ударных волн, распространяющаяся вверх по потоку до выхода из канала двигателя. Настоящая работа посвящена исследованию процесса распространения этой системы ударных волн. В настоящий момент существует несколько способов моделирования распространения ударных волн по каналу воздухозаборника. Настоящая работа посвящена сравнению двух основных подходов: моделирования во временной области и моделирования в частотной области. Ключевые слова: шум вентилятора, ударные волны, распространение, моделирование.

26.01-01.268 О влиянии эффекта экранирования на результат настройки ЗПК в воздухозаборнике двигателя. *Вашкатов В.В., Денисов С.Л., Остриков Н.Н.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 55. Рус.

Для снижения шума вентилятора современного турбореактивного двухконтурного двигателя его каналы облицовывают звукопоглощающими конструкциями (ЗПК), параметры которых оптимизируют на максимальное снижение шума самолета на местности. Однако установка двигателя над поверхностью крыла может существенно изменить диаграмму направленности излучения в дальнем поле в силу наличия эффекта экранирования звука. Действительно, при отсутствии эффекта экранирования наиболее интенсивное излучение тональных компонент шума вентилятора двигателя из канала воздухозаборника реализуется в диапазоне углов наблюдения от 50 до 70 градусов. Поэтому параметры ЗПК в воздухозаборнике настраиваются на максимальное снижение амплитуд звуковых мод, излучаемых в дальнее поле в этом диапазоне углов наблюдения. В случае установки двигателя над крылом звук, излучаемый из воздухозаборника в этом диапазоне углов, может значительно экранироваться, а в дальнем поле начинают доминировать звуковые моды, излучаемые под малыми углами наблюдения. Поэтому с целью достижения наибольшего снижения шума самолета в дальнем поле необходимо перенастроить параметры ЗПК на снижение интенсивных звуковых мод, излучаемых под малыми углами наблюдения. В работе представлены результаты решения задачи оптимизации импеданса ЗПК в канале мо-

дельного воздухозаборника при наличии и отсутствии эффекта экранирования модельным прямоугольным крылом, выполненного с помощью ранее развитого метода, основанного на компиляции метода Геометрической Теории Дифракции, описывающего эффект экранирования, и метода конечных элементов расчета процесса распространения звука в канале при наличии потока. Ключевые слова: эффект экранирования, звукопоглощающие конструкции, снижение шума самолета на местности.

26.01-01.269 Расчетное исследование механизмов генерации тонального шума двухступенчатым вентилятором на режимах с дозвуковым течением. Дружинин Я.М., Милешин В.И., Россихин А.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 56. Рус.

Одним из возможных направлений развития современной авиастроительной индустрии является внедрение сверхзвуковых пассажирских самолетов (СПС). Для перспективных двигателей СПС со степенью двухконтурности от 1.0 до 3.0 предполагается применение двухступенчатых вентиляторов с ширококордными лопатками, обеспечивающих высокую степень повышения полного давления около 2. Такие вентиляторы существенно отличаются как от одноступенчатых вентиляторов современных дозвуковых пассажирских самолетов, так и от многоступенчатых вентиляторов, которые использовались на пассажирских самолетах первых поколений. Целью работы является численное исследование механизмов генерации тонального шума двухступенчатым вентилятором на режимах с дозвуковым течением. Такие особенности течения в вентиляторе характерны для посадочных режимов. На этих режимах основной вклад в генерацию шума вносит шум взаимодействия между рабочими колесами (РК) и направляющими аппаратами (НА). Представлено численное исследование тонального шума двухступенчатого вентилятора на режиме с дозвуковой окружной скоростью. В работе использовался метод расчета тонального шума многоступенчатых турбомашин в частотной области. В результате расчетов получен модальный состав излучения на входе в вентилятор и выходе из него. Вычислена мощность тонального шума, излучаемого вентилятором в исследуемом частотном диапазоне. Проведен анализ того, взаимодействие каких венцов дает наибольший вклад в излучение. Показано, что основной вклад в тональный шум вентилятора вносит шум, связанный с взаимодействием второго рабочего колеса с первым направляющим аппаратом. Ключевые слова: вычислительная аэроакустика, шум двухступенчатого вентилятора, расчет в частотной области.

26.01-01.270 Об особенностях трансформации поля пристеночных пульсаций давления при переходе от двумерных к трехмерным отрывным течениям. Кузнецов С.В., Голубев А.Ю. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 56. Рус.

Пристеночные пульсации давления в турбулентном пограничном слое являются источником шума, создаваемого обтекаемыми потоком упругими конструкциями. Наличие выступающих элементов на обтекаемой поверхности приводит к отрыву набегающего потока, в результате чего существенно возрастает интенсивность турбулентных пульсаций. В работе представлены результаты экспериментальных исследований поля пристеночных пульсаций давления в турбулентном пограничном слое в окрестности и на поверхности выступающих тел конечной ширины. Измерения проводились в аэроакустической установке П-2 Московского комплекса ЦАГИ. Физические особенности осредненного пристеночного течения исследовались посредством масляной визуализации предельных линий тока. Рассмотрена трансформация картины течения и статистических характеристик исследуемого поля, наблюдающаяся при увеличении степени трехмерности осредненного течения, сопровождающем уменьшение ширины выступающего тела. Анализируется связь спектров пристеночных пульсаций давления с размерами характерных областей отрывного течения. Ключевые слова: пульсации давления, отрывное течение, турбулентный пограничный слой.

26.01-01.271 гибридный корреляционно-интенсиметрический метод определения звукоизоляции самолетных конструкций. Зеерев А.Я. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 57. Рус.

При принятии решений о конкретных способах снижения шума в салоне самолета необходимо знать пути его проникновения извне внутрь салона, то есть локализовать области конструкции фюзеляжа с повышенным прохождением звука. Наиболее перспективными методами для получения необходимой информации являются корреляционный метод и метод акустической интенсиметрии. Оба эти метода имеют свои преимущества и недостатки. Поэтому для более корректного определения звукового поля, излучаемого конструкцией, целесообразно при проведении измерений объединить достоинства этих методов и компенсировать их недостатки. Другими словами, необходимо создать гибридный метод, позволяющий на основе единичного проведенного измерения получить как интенсиметрические, так и корреляционные характеристики исследуемого поля. Для решения этой задачи сформирована схема измерений, использование которой позволяет по результатам проведения единого измерения и на основании показаний одних и тех же микрофонов оценить локальную звукоизоляцию элемента фюзеляжной конструкции интенсиметрическим и корреляционным методами. Исследования по отработке гибридного корреляционно-интенсиметрического метода проведены в звукомерных камерах и на натурном самолете. Показано, что предложенный метод позволяет корректно оценить звукоизолирующую способность элементов конструкции даже в условиях повышенного фонового шума и наличия обходных путей проникновения звука в салон самолета. Ключевые слова: звукоизоляция, корреляционный метод, интенсиметрический метод.

26.01-01.272 Быстрая оценка характеристик звукового удара в стандартной атмосфере на основных режимах полета сверхзвукового пассажирского самолета. Коруннов А.О., Гусев В.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 67-68. Рус.

Предложен метод быстрой оценки характеристик звукового удара от сверхзвукового пассажирского самолета в условиях стандартной атмосферы. Кусочно-линейная зависимость профиля температуры и отсутствие атмосферного ветра позволяют полностью свести задачу о геометрии распространения волн звукового удара к алгебраическому виду. Для акустического давления сформулировано точное решение на основе подхода нелинейной геометрической акустики. Проведен анализ зависимости геометрии распространения волн звукового удара от параметров крейсерского полета сверхзвукового пассажирского самолета. В условиях третьего семинара SBPW (Sonic Boom Prediction Workshop) 2020 произведен расчет эпюр избыточного давления на земле от демонстратора X-59. Для основных нестационарных режимов полета (режим разгона и режим сверхзвукового поворота) разработаны алгоритмы построения линий пересечения каустики с земной поверхностью. Получен точный критерий фокусировки волн на земле на режиме сверхзвукового поворота, а также точное решение для ширины линии фокусировки на земле на режиме горизонтального сверхзвукового разгона. В рамках метода нелинейной геометрической акустики получена оценка для коэффициента усиления амплитуды избыточного давления при фокусировке волн на земле. Ключевые слова: звуковой удар, стандартная атмосфера, точные решения, оценка в режиме реального времени, нестационарные режимы полета.

См. также **26.01-01.48, 26.01-01.51, 26.01-01.61, 26.01-01.88, 26.01-01.120, 26.01-01.156, 26.01-01.258**

Колебания тел и структур в потоке, аэроупругость

26.01-01.273 Спектр квадрупольного момента круговой равновесной системы точечных вихрей. Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Демьянов М.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 52. Рус.

Образование крупномасштабных вихрей наблюдается в турбулентных океанических или атмосферных потоках и может быть воспроизведено в лабораторных экспериментах и численном моделировании. Общее объяснение этого феномена было впервые предложено Онсагером через рассмотрение статистической механики для набора точечных вихрей в двумерной гид-

родинамике. Позднее другие авторы исследовали различные свойства статистических вихревых систем, включая флуктуации плотности вихревых частиц около равновесного состояния. В работе рассматривается круговая система точечных вихрей в безграничном пространстве несжимаемой жидкости. Это течение оказывается удобной моделью для анализа некоторых нерешенных проблем, связанных с генерацией шума турбулентными потоками при малых числах Маха, включая задачу о взаимодействии мелкомасштабных пульсаций с крупномасштабными колебаниями неоднородного течения, а также проблеме описания стохастических источников звука в турбулентном течении на языке вихревой динамики. Для равновесной системы точечных вихрей определяется спектр квадрупольного момента, определяющего главный вклад в генерацию шума локализованными вихревыми течениями. С этой целью проводится численное моделирование системы точечных вихрей, а также теоретический анализ этой системы, основанный на решении стохастического уравнения для флуктуаций завихренности. Показано, что основной вклад в квадрупольный момент дает крупномасштабная эллиптическая мода коллективного течения, возбуждаемая стохастической динамикой точечных вихрей. Получено хорошее соответствие численных расчетов и аналитических оценок. Планируется использование предложенных аналитических методов для анализа звукового излучения турбулентных течений с более сложной геометрией. Ключевые слова: точечные вихри, статистическое равновесие, флуктуации завихренности, квадрупольный момент, турбулентные течения, генерация звука.

26.01-01.274 О сходстве процессов образования тонального шума в закрученной струе и широкополосного шума в турбулентной струе. *Крашенинников С.Ю.* *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 53. Рус.

Данные современных экспериментальных исследований и вычислительного моделирования нестационарных процессов при истечении турбулентных струй позволяют проследить последовательность различных процессов при их взаимодействии с внешней средой. Изучение последовательности элементов взаимодействия турбулентных пульсаций в турбулентном слое смешения показывает, что, несмотря на стохастический характер процесса смешения, проявляется периодичность во взаимодействии турбулентного течения с вовлекаемой в струю внешней средой. При распространении закрученной турбулентной струи с высокой интенсивностью закрутки процесс втекания в струю также имеет периодическую составляющую из-за прецессионного движения струи относительно ее оси как целого. Анализ «мгновенных» картин течения показывает, что характерные частоты этого пульсационного движения соответствуют периодам общего пульсационного процесса, формирующегося при втекании в струю внешней среды. Процесс вовлечения в струю внешней среды в рассматриваемых струйных течениях обусловлен

понижением статического давления в области смешения. В закрученной струе из-за прецессионного движения всей структуры вместе со струей вращается область пониженного давления, создающая основной всасывающий эффект. Проявляется характерная частота вращения этой области. Она соответствует основному тону акустического излучения. В обычной турбулентной струе локальная частота излучаемого шума уменьшается вдоль слоя смешения из-за пропорционального роста продольного размера областей всасывания в струю внешней среды. Ключевые слова: турбулентные струи, эффект всасывания, явление периодичности.

26.01-01.275 О разделении на объемные и поверхностные аэроакустические источники в случае малых чисел Маха на примере излучения звука при нестационарном обтекании цилиндра. *Демьянов М.А.* *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 53-54. Рус.

В сжимаемых средах характерной особенностью областей нестационарного течения является сопровождающаяся в них генерация звукового излучения. Звуковое излучение, возникающее при нестационарных течениях сжимаемого газа, является объектом изучения аэроакустики. Связь акустического поля с аэродинамическими параметрами течения, выводимая из общих уравнений движения сжимаемого газа, называется акустической аналогией. Получить аналитическую связь между акустическим полем и аэродинамическими параметрами течения можно разными способами. При этом выводимые уравнения вместе с правой частью, которую уместно называть аэроакустическим источником, получаются также различными. Таким образом возникло несколько наиболее плодотворных акустических аналогий. Вопрос о том, какая из акустических аналогий является правильной, не является корректным, так как любая из них должна приводить к одному и тому же акустическому полю вдали от областей интенсивного нестационарного течения. Уместнее задавать вопрос о физической интерпретации акустических аналогий и удобстве их применения в конкретных прикладных задачах. В работе рассмотрены аналогии Пауэлла—Хоу и Кёрла применительно к задаче излучения звука от нестационарного обтекания цилиндра при малых числах Маха. Проведены теоретический анализ и сопоставление полей акустических источников для данных аналогий, получена явная связь между ними. Показано, что в приближении малых чисел Маха, когда область интенсивного течения можно считать компактной, обе аналогии являются эквивалентными и приводят к одинаковому выражению для акустического излучения в дальнем поле. Ключевые слова: аэроакустический источник, акустический шум обтекания цилиндра.

См. также **26.01-01.39**, **26.01-01.257**, **26.01-01.258**, **26.01-01.263**, **26.01-01.264**, **26.01-01.265**, **26.01-01.266**, **26.01-01.267**, **26.01-01.268**, **26.01-01.269**, **26.01-01.270**, **26.01-01.272**

Акустика структурно неоднородных сред; Геологическая акустика

26.01-01.276 Численное решение трехмерной задачи сейсмоакустической поверхностно-волновой томографии. *Позднякова Д.Д., Преснов Д.А., Шуруп А.С.* *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 7. Рус.

Рассматривается трехмерная томографическая схема восстановления параметров неоднородных геофизических сред, использующая в качестве исходных данных времена распространения поверхностных волн в различных частотных диапазонах. В качестве примера приводятся результаты восстановления неоднородностей поперечных волн. Отличительной особенностью исследуемого подхода является отсутствие промежуточного шага восстановления двумерных распределений скоростей поверхностной волны. В рамках линеаризованной постановки возмущения времен распространений поверхностных волн инвертируются непосредственно в восстанавливаемые возмущения параметров среды. Для описания трехмерных аномалий поперечных волн используется полосчатый базис. Это позволяет дополнительно учитывать условия гладкости восстанавливаемых функций в горизонтальной плоскости и по глубине, тем самым улучшая обусловленность обратной задачи. Анализируются чувствительность и разрешающая способность обобщаемой схемы. Приводятся результаты численного моделирования, выполненного для условий Гавайского архипелага, которые указывают на работоспособность предлагаемого подхода. Ключевые слова: сейсмоакустическая томография, поверхностная волна, слоистая геофизическая среда.

ливаемых функций в горизонтальной плоскости и по глубине, тем самым улучшая обусловленность обратной задачи. Анализируются чувствительность и разрешающая способность обобщаемой схемы. Приводятся результаты численного моделирования, выполненного для условий Гавайского архипелага, которые указывают на работоспособность предлагаемого подхода. Ключевые слова: сейсмоакустическая томография, поверхностная волна, слоистая геофизическая среда.

Сейсмическое зондирование геологических структур

26.01-01.277 Математические модели для обработки и интерпретации сейсмических данных в новом методе сейсморазведки. *Фонин А.А., Сучков С.Г., Николаевцев В.А.* *Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика*. 2025. 25, № 1, с. 140-149. Рус.

Для применения в новом методе сейсморазведки с вертикально расположенными сейсмоприемниками представлена полуаналитическая математическая модель, описывающая распространение акустического импульса по вертикали в слоистой среде с наклонными границами раздела сред, учитывающая основные параметры горных пород, такие как толщина слоев, плотность, скорость распространения акустических волн в породах, а также добротность этих сред и углы наклона границ. Проводится сравнение теоретической сейсмограммы по полуаналитической модели с результатами точного моделирования в программном комплексе Comsol Multiphysics. Построен алгоритм фильтрации сигналов в экспериментальных сейсмограммах для выделения сигналов, приходящих по вертикали. Для определения акустических и геологических параметров горных пород в автоматическом режиме (без участия геолога-интерпретатора) построен метод наименьших квадратов для поиска глобального минимума целевой функции, проверенный сравнением рассчитанных параметров с данными конкретного геологического разреза.

26.01-01.278 Трехмерное моделирование сейсморазведки в арктических условиях с использованием высокопроизводительных вычислений. *Гусева Е.К., Голубев В.И., Шевченко А.В. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 5. Рус.

Развитие высокопроизводительных систем позволило эффективно решать прикладные геоинженерные задачи, к которым относится изучение влияния различных особенностей геологического массива с помощью решения прямых задач сейсморазведки. Особенно актуальными являются задачи Арктического региона, развитие которого сопряжено с дорогими и труднодоступными измерениями. В связи с этим в настоящей работе исследуются волновые процессы в неоднородном многолетнемерзлом грунте с ледовым и метановым слоями. Решаются задачи наземной и морской сейсморазведки, для которых были созданы трехмерные постановки с криволинейными границами между слоями, отражающие основные особенности региона. В качестве определяющей системы уравнений применялась модель линейной теории упругости, для решения которой использовался сеточно-характеристический метод, адаптированный к применению параллельных вычислений на кластере с помощью технологии MPI. С помощью анализа полученных волновых картин и сейсмограмм изучалось влияние различных включений на результаты измерений, что может быть использовано для улучшения интерпретации реальных данных, а также решения обратных задач. Предлагаемый подход к моделированию может использоваться для построения цифровых двойников геологических сред. Ключевые слова: численное моделирование, прямые задачи сейсморазведки, Арктический регион, сеточно-характеристический метод, высокопроизводительные вычисления.

См. также **26.01-01.220**

Исследование геологических сред с использованием сейсмического шума

См. **26.01-01.278**

Обратные задачи сейсмоакустики

См. **26.01-01.277, 26.01-01.278**

Акустика землетрясений, вулканических извержений, иных катастрофических природных явлений

26.01-01.279 Применение вейвлет-преобразования для описания акустической эмиссии при разрушении материалов. *Гильяров В.Л., Дамаскинская Е.Е. Физика твердого тела.* 2025. 67, № 12, с. 2349-2355. Рус.

Проведен вейвлет-анализ временных зависимостей амплитуд сигналов акустической эмиссии для гетерогенных материалов при их механическом нагружении, а также магнитуд землетрясений в Италии в 1990–2000 годах. Показано, что появлению

крупных событий и разрушению материалов предшествует увеличение выделения энергии на различных масштабных уровнях. Сделан вывод о том, что это увеличение может служить прогностическим признаком разрушения материала. Ключевые слова: прогнозирование разрушения, вейвлет-анализ, гетерогенные материалы.

Акустика Земли и планет

26.01-01.280 Вес вибратора и пульсации гравитационного поля Земли. *Дмитриев А.Л. Прикладная физика и математика.* 2025, № 10, с. 3-5. Рус.

Приведены результаты взвешивания вертикально колеблющегося электромеханического вибратора в диапазоне частот 20–60 Гц. Частотная зависимость среднего веса вибратора объясняется флуктуациями напряжённости гравитационного поля Земли и нерелятивистским эффектом гравитационной индукции. Ключевые слова: гравитация, вес, вибратор, индукция.

26.01-01.281 Нелинейные периодические пылевые звуковые волны в магнитосфере Сатурна. *Извекова Ю.Н., Копнин С.И., Шохрин Д.В., Попель С.И. Физика плазмы.* 2025. 51, № 1, с. 92-99. Рус.

Характерной особенностью магнитосферы Сатурна является присутствие электронов двух сортов, подчиняющихся каплярным распределениям, — горячих и холодных. Электроны, ионы магнитосферы и пылевые частицы, которые были обнаружены в рамках миссии Cassini, образуют плазменно-пылевую систему в магнитосфере Сатурна. Рассматриваются нелинейные периодические пылевые звуковые волны произвольной амплитуды, которые могут распространяться в запыленной магнитосфере Сатурна. Полученные результаты важны для интерпретации будущих космических наблюдений.

26.01-01.282 Нелинейные пылевые звуковые волны у поверхности Фобоса и Деймоса. *Извекова Ю.Н., Копнин С.И., Попель С.И. Физика плазмы.* 2025. 51, № 4, с. 401-406. Рус.

Фобос и Деймос относятся к безатмосферным космическим телам со слабой гравитацией. Их поверхность состоит из мелких зерен реголита, не связанных друг с другом, образовавшихся в результате бомбардировки микротемпературами. Наличие слабой гравитации делает эти объекты привлекательными для пилотируемых полетов, а также усиливает роль пыли, поскольку даже слабое возмущение приводит к образованию массивного пылевого облака над поверхностью. Поверхности спутников Марса заряжаются под действием электромагнитного излучения Солнца и плазмы солнечного ветра. Частицы пыли, расположенные на поверхности или в приповерхностном слое, поглощают фотоны, фотоэлектроны, электроны и ионы солнечного ветра, в результате чего приобретают электрический заряд. Под действием электростатических сил в условиях слабой гравитации пылевые частицы отрываются от поверхности и вместе с электронами и ионами образуют плазменно-пылевую систему. В плазменно-пылевой системе над поверхностями спутников Марса могут распространяться пылевые звуковые волны. В данной работе рассматриваются нелинейные периодические и уединенные пылевые звуковые волны произвольной амплитуды, которые могут распространяться у поверхности Фобоса и Деймоса, а также обсуждается возможность наблюдения этих структур.

26.01-01.283 Оптимизация орбитальных параметров космических аппаратов в задаче измерения гравитационного поля Земли. *Филеткин А.И. Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия.* 2026. 80, № 1, с. 2610801. Рус.

Разработан аналитический метод оптимизации орбитальных параметров космической группировки для измерения гравитационного поля Земли (ГПЗ). Метод основан на поиске циклов повторяемости подспутниковых трасс при невозмущённом кеплеровском движении с условием кратности целого числа оборотов спутника за целое число узловых дней. Путём сопоставления результатов аналитического и численного подходов получена функциональная зависимость, позволяющая определять высоту орбиты космического аппарата с точностью до 30 метров для возмущённого движения. В работе рассматривают-

ся две временные шкалы интегрирования орбиты: полный цикл покрытия (30 дней) и подцикл (7 дней). Для найденных оптимальных конфигураций выполнено полномасштабное интегрирование орбитального движения и восстановление ГПЗ, что

позволило оценить влияние орбитальных параметров на точность восстановленного поля.

См. также **26.01-01.35**, **26.01-01.191**

Акустическая экология; Шумы и вибрации

26.01-01.284 Моделирование эксплуатационных режимов работы судовых амортизирующих конструкций. *Волкова Н.В., Кузьменко П.А., Налимова Т.Г. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 13. Рус.

В процессе эксплуатации на амортизирующие конструкции (АК) воздействуют различного вида нагрузки. Рассмотрены основные виды воздействующих эксплуатационных нагрузок на АК. Сформированы численные модели АК, используемые при проектировании и учитывающие статические и динамические воздействия. Произведена расчетная оценка основных характеристик и параметров АК, выполнено их сравнение с результатами экспериментального определения аналогичных характеристик и параметров. Ключевые слова: моделирование, амортизирующая конструкция, режим эксплуатации, экспериментальные исследования.

26.01-01.285 Перспективные направления замены судовых пневматических резинокордных конструкций на эффективные резинометаллические амортизирующие конструкции. *Волкова Н.В., Кузьменко П.А., Налимова Т.Г. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 13. Рус.

При проектировании судов широко используются пневматические резинокордные амортизирующие конструкции. Взамен пневматических предложены направления создания эффективных резинометаллических конструкций с улучшенными акустическими характеристиками и ресурсными параметрами. Представлены результаты численных экспериментов по исследованию напряженно-деформированных состояний и определению основных, функционально важных характеристик перспективных, резинометаллических амортизирующих конструкций. Ключевые слова: амортизирующая конструкция, пневматический амортизатор, численное моделирование, напряженно-деформированное состояние.

26.01-01.286 Оценка координат широкополосного источника звука в океане с использованием интерференционной структуры на апертуре антенны. *Драченко В.Н., Кузнецов Г.Н., Мизнюк А.Н. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 13-14. Рус.

При приеме широкополосных сигналов в мелком и глубоком морях вертикальными, в том числе планарными антенными решетками, на апертуре антенн наблюдается ярко выраженная интерференция, свойства которой зависят от различных влияющих факторов, в том числе от расстояния и глубины источника шума. Это позволяет с использованием достаточно простых алгоритмов оценивать расстояние до источника и его глубину. В докладе предлагается и исследуется один из возможных методов оценки координат в пассивном режиме, основанный на использовании априорной информации о передаточной функции волновода, глубине установки и геометрии построения приемной системы. В данном методе для оценки дистанции до источника сигнала и его глубины совместно с частотно-пространственным распределением акустического поля, формируемого удаленным источником на апертуре приемной антенны, также используется информация об углах скольжения лучей, сформировавших принятое звуковое поле. Данный метод позволяет получить однозначную оценку дистанции до источника сигнала и его глубины даже с помощью вертикальных антенн с небольшой апертурой (например, 10 м). Устойчивые решения получены и в тех случаях, когда лучи, формирующие акустическое поле, не разрешаются в отклике антенны ни по пространству, ни по времени. Ключевые слова: шумопеленгование, лучевая структура сигналов, интерференция на вертикальной антенне, корреляционная обработка, оценка расстояния до источника и его глубины.

26.01-01.287 К оценке изоляции воздушного шума

строительными изделиями в области низких частот. *Цукерников И.Е., Невенчанная Т.О., Щурова Н.Е. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 14-15. Рус.

Приводятся результаты экспериментальных исследований по определению изоляции воздушного шума строительными изделиями в области низких частот (1/3-октавные полосы со среднегеометрическими частотами 50, 63, 80 Гц) с использованием измерений уровней звукового давления и интенсивности звука. Исследования выполняли в малой реверберационной камере НИИСФ РААСН. Испытуемый образец — фасадная ограждающая конструкция системы типа EWS-11 с двухкамерным стеклопакетом с триплексом с безопасным стеклом снаружи и внутри 18СМ4-20Аг-8ЗИ-20Аг-18СМ4. Конструкция смонтирована в испытательный проем с образованием ниши глубиной 0.1 м. Размер — 3.20×1.74 м. Измерения и оценку звукоизоляции проводили в два этапа: по измерениям уровня звукового давления по методу российского стандарта ГОСТ Р ИСО 10140-4:2012 в соответствии с рекомендациями приложения А; по измерениям интенсивности звука в соответствии с рекомендациями международного стандарта ISO 15186-3:2002. При сопоставлении результатов получили существенные (10 дБ) расхождения в низкой среднечастотном диапазоне (1/3-октавные полосы со среднегеометрическими частотами 50—200 Гц). Поскольку точность метода по ГОСТ Р ИСО 10140-4 в области низких частот существенно ниже точности интенсивностного метода по ISO 15186-3, рекомендовано провести исследования по оценке возможности повышения точности метода определения изоляции воздушного шума строительными изделиями, установленного ГОСТ Р 10140-4 в области низких частот, а также провести теоретические и экспериментальные исследования по оценке требований выполнения и при необходимости уточнение положений интенсивностного метода, установленного ISO 15186-3. Ключевые слова: звукоизоляция, звуковое давление, интенсивность звука, измерение, оценка.

26.01-01.288 Акустический экран со звукопоглощающей насадкой на верхней кромке. *Мусаева Р.Н., Комкин А.И. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 15. Рус.

Приведены численные расчеты в программной среде COMSOL Multiphysics акустических характеристик экрана со звукопоглощающей насадкой цилиндрической формы на верхней кромке. Представлены картины распределения звукового давления в расчетной области вокруг экрана в зависимости от числа Гельмгольца. Получены зависимости вносимых потерь экрана со звукопоглощающей цилиндрической насадкой от частоты. Проанализировано влияние диаметра насадки, пористости поверхности насадки, наличия внутри нее звукопоглощающего материала, а также плотности этого материала на вносимые потери экрана. Ключевые слова: экран, цилиндрическая насадка, звукопоглощающий материал, дифракция, численный расчет.

26.01-01.289 Сезонный мониторинг звуковых ландшафтов при наличии типичных и нетипичных для территории шумов. *Римская-Корсакова Л.К., Канев Н.Г., Комкин А.И., Марголина И.Л. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 15-16. Рус.

Международная организация по стандартизации определила «звуковой ландшафт» как акустическую среду, понимаемую или переживаемую людьми в контексте, а также ввела показатели его количественной оценки. Такие показатели включают экспертные оценки звукового разнообразия среды, включающие анализ трех типов звуков (неприятный шум, нейтральные звуки присутствия людей, приятные звуки природы) и их составов, а также атрибутов аффективно воспринимаемого человеком качества среды с последующей оценкой мер Приятности

и Событийности. В настоящее время такие показатели широко используются для оценки комфортности среды, создания зон «звуковой разгрузки» для людей, проживающих в шумных городах. Для понимания роли контекста в восприятии среды в настоящей работе проводится сопоставление акустических характеристик среды с оценками звуковых ландшафтов, полученных в разные сезоны в типичных городских локациях: в местах с оживленными транспортными магистралями, умеренным транспортным потоком и скоплением людей и в парковой зоне. Показано, что на территориях, имеющих звуковое разнообразие, снижение уровней звуков в среде сопровождается повышением меры Приятности и снижением меры Событийности. При изменении типов и составов слышимых звуков это правило нарушается. При сходных в разные сезоны уровнях звуков, весной наблюдали повышение мер Приятности и Событийности за счет активации звуков природы по сравнению с таковыми, полученными осенью. При появлении нетипичных для парковой зоны звуков строительных работ наблюдали существенное снижение меры Приятности и повышение меры Событийности весной, по сравнению с осенью. Это указывает на то, что только на основании уровней звукового давления невозможно оценить качество звуковой среды, определить, может ли данная звуковая среда служить зоной звуковой разгрузки для жителей шумных городов. Ключевые слова: звуковая среда, акустические характеристики, типы звуков, воспринимаемое качество среды, звуковая разгрузка.

26.01-01.290 Оценка собственных шумов низкочастотных преобразователей методом взаимного спектрального анализа. *Антонов А.Ю.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 16. Рус.

Доклад посвящен разработке и экспериментальной проверке методики измерения собственных шумов низкочастотных преобразователей с использованием взаимного узкополосного спектрального анализа. Актуальность темы обусловлена необходимостью точного определения шумовых характеристик акустических и вибрационных датчиков, используемых в системах мониторинга и регистрации слабых сигналов, где уровень собственных шумов критически влияет на чувствительность всей измерительной системы. Предлагаемый подход основан на сравнении сигналов двух идентичных преобразователей, расположенных в акустически и вибрационно изолированной среде. При помощи узкополосной фильтрации и расчета взаимного спектра мощности удается подавить некоррелированные шумы и выделить собственный шум каждого датчика. Такой метод существенно повышает точность оценки по сравнению с традиционными одноканальными измерениями. Описаны особенности реализации методики: выбор полосы анализа, временные усреднения, синхронная цифровая обработка сигналов. Приведены экспериментальные результаты измерений микровольтовых шумов в диапазоне частот до 100 Гц. Промоделированы преимущества предлагаемого метода по снижению влияния внешних возмущений и повышению достоверности оценки шумовых характеристик преобразователей. Ключевые слова: собственные шумы преобразователей, взаимный спектральный анализ, низкочастотные измерения, узкополосная фильтрация, шумовая характеристика датчиков.

См. также **26.01-01.195**

Шумы и вибрации в воздушной среде

26.01-01.291 Разработка системы оценки акустического воздействия в городе с применением платформы интернета вещей. *Кабонен А.В., Симонова А.А., Кувшинов Д.А., Графова Е.О.* *Экологические системы и приборы.* 2026, № 1, с. 48-58. Рус.

Исследования по оценке экологического состояния городской среды для двух улиц с высокой интенсивностью движения города с населением 250 000, расположенного на северо-западе России, с использованием мультисенсорного электронного устройства под управлением IoT-платформы. Проанализированы данные по результатам измерений в центральной части города на двух ключевых магистралях с апреля по октябрь 2024 г. Представлен механизм выявленные изменений уровня шума в раз-

ное время суток в рассмотренные месяцы. Выявлены значимые уровни шума, обработанные статистически в среде программирования R с использованием базовых функций методом сравнения двух независимых выборок. Проведена оценка достоверности отличий статистических показателей по критериям: Шапиро—Уилкса, Фишера. Определены значения средних арифметических использованы критерии: Стьюдента, Стьюдента с поправкой Велша. Применен Манна—Уитни для случаев отличия выборки от нормальности. Приведены результирующие диаграммы Voxplot, которые позволяют сравнивать распределения значений из разных выборок между собой. Разработан и апробирован программно-аппаратный комплекс «Smart Ecosystems», позволяющий выявить время значимых пиковых шумовых воздействий. Результаты исследования вносят вклад в развитие инструментов экологического мониторинга и в формирование научно обоснованного подхода к управлению акустической средой современного города. Ключевые слова: шум, акустический анализ, интернет вещей, мониторинг, IoT-платформа.

26.01-01.292 Анализ моделей и разработка программного комплекса для оценки влияния вибрационных воздействий транспортных средств на объекты городской инфраструктуры. *Степанов К.Д., Дружинина О.В., Петров А.А.* *Нелинейный мир.* 2024. 22, № 1, с. 5-14. Рус.

Постановка проблемы. Учитывая высокие темпы современного гражданского строительства в крупных городах и расширения транспортных сетей, можно утверждать, что актуальным на сегодняшний день является создание моделей, которые могут быть использованы для прогнозирования влияния вибрационных воздействий транспортных средств на окружающие инфраструктурные объекты. Разработка моделей для оценки вибрационных воздействий и для последующего использования в системах мониторинга и диагностики требует привлечения современных методов нелинейного анализа, дискретной математики, а также инструментов разработки экспертных систем и технологий искусственного интеллекта. Цель. Провести анализ комплексной математической модели пространственных взаимодействий, разработать алгоритмическое обеспечение и охарактеризовать структуру программного комплекса для оценки влияния вибрационных воздействий транспортных средств на объекты городской инфраструктуры. Результаты. Предложена новая модель пространственных взаимодействий для оценки уровней воздействия вибраций, для которой построен граф размещения объектов, связанных каналами распространения вибраций с применением математического аппарата моделирования гибридных динамических систем, экспертных знаний и нечетких правил логического вывода. Рассмотрены примеры построения модели пространственных взаимодействий с учетом трех объектов вибрационного наблюдения. Разработан алгоритм VibCalcAlg для расчета состояний трехкомпонентной модели. Дано описание структуры программного комплекса VibCalc, включающего в себя блоки нечеткой логики, построения моделей и визуализации. Практическая значимость. Результаты исследования могут найти применение при решении задач математического моделирования, связанных с оценкой и прогнозированием вибрационных воздействий в области транспортного и гражданского строительства, а также при решении задач охраны окружающей среды. Эти результаты направлены на совершенствование интеллектуальных систем мониторинга и систем поддержки принятия решений в проектировании, строительстве и эксплуатации транспортных объектов.

См. также **26.01-01.227**, **26.01-01.271**

Подводные шумы и вибрации

26.01-01.293 О подводной шумности ледоколов. *Новиков Д.О.* *Труды Крыловского государственного научного центра.* 2025, № 414, с. 15-32. Рус.

Объект и цель научной работы. В связи с одобрением ИМО «Руководства по снижению подводного шума транспортных судов», в котором поставлен вопрос об отрицательном влиянии подводного шума (ПШ) ледоколов при проведении ими ледо-

вых операций на условия жизни коренных народов Севера, рассматриваются различные аспекты шумности данных судов. Материалы и методы. Анализируются результаты опубликованных и специально проведенных экспериментальных исследований, направленных на изучение подводного шума транспортных судов и их гребных винтов (ГВ) при работе во льдах. Учитываются также результаты выполненного и ранее опубликованного анализа диапазона частот ПШ, наиболее неблагоприятного с экологической точки зрения. Основные результаты. Определены особенности формирования подводного шума при работе ледоколов во льдах. Рассмотрены возможности снижения ПШ одного из основных источников — гребных винтов. Заключение. Систематические исследования подводного шума ледоколов во время проведения ледовых операций на данный момент отсутствуют. В статье проанализированы публикации, которые позволяют хотя бы косвенно оценить ПШ ледоколов и пути его снижения в свете необходимости выполнения одобренной ИМО в 2023 г. второй редакции «Руководства по снижению шума для транспортных судов». Отмечена необходимость организации специальных исследований ПШ ледоколов и определения путей его снижения. Приведены результаты ряда модельных исследований, выполненных в Крыловском центре. Работа является продолжением исследования, результаты которого опубликованы в № 3(413) Трудов. Ключевые слова: подводный шум, ледокол, гребной винт.

26.01-01.294 Расчетные оценки подводного шума ресурсодобывающих платформ. Кузнецова А.Д. Труды Крыловского государственного научного центра. 2025, № 414, с. 165-172. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом исследования является техногенный подводный шум (ПШ) при работе ресурсодобывающих платформ и их инфраструктуры. Цели — анализ оборудования и конструкций платформ; выделение основных источников шума и вибрации; оценка применимости методов акустического расчета от объектов морской техники к расчету ПШ платформ различного типа. Материалы и методы. В работе использованы аналитические методы для описания физических принципов генерирования и распространения подводного шума в условиях мелкого моря. Применены также методы численного моделирования, в частности энергостатистический метод (ЭСМ) с дополнением в виде определения величины звукоизлучения отдельных элементов подводной части платформ, что позволяет проводить расчет уровней ПШ для различных моделей конструкций платформ. Основные результаты. Проанализированы основные источники подводного шума, возникающие при эксплуатации ресурсодобывающих платформ: суда обслуживания, вертолетная техника, газовые факелы и технологическое оборудование. Выполнен анализ открытых методик расчета ПШ от движения судов и проведено сравнение результатов расчета и натуральных измерений. Предложена методика оценки ПШ, проникающего в воду при пролете вертолетной техники и работе газового факела. Разработаны виброакустические модели морских гравитационных платформ на «ножках» и кессонного типа, а также полупогружной буровой установки (ППБУ) на основе ЭСМ. Проведена верификация предлагаемого подхода на примере платформы «Беркут», для которой рассчитанные уровни ПШ сравниваются с экспериментальными данными измерений. Заключение. Анализ открытых данных по ресурсодобывающим платформам позволил выделить основные технологические источники шума и вибрации и разработать виброакустические модели на основе ЭСМ для оценки подводного шума. Представленная методология расчета ПШ от судов обеспечения и вертолетов позволил комплексно и с удовлетворительной точностью оценить техногенное шумовое воздействие при работе платформ. Ключевые слова: техногенный подводный шум, ресурсодобывающие платформы, трассы судов, энергостатистический метод, виброакустическая модель.

26.01-01.295 Характеристики рассеяния дискретных составляющих шума гребного винта моделью корпуса подводного аппарата. Ильменков С.Л. Морской вестник. 2025, № 3, с. 104-106. Рус.

Двигатель и корпус подводного аппарата находятся в сложном гидродинамическом взаимодействии, поэтому при исследовании характеристик излучения звука такими объектами

целесообразно рассматривать в целом систему «двигатель—корпус». Компонента внешнего гидроакустического поля, связанная с переизлучением корпусом шума от двигателя, в некоторых случаях может превышать уровень шума первичного источника за счет резонансов корпусных конструкций. Как известно, наиболее распространенными типами двигателей в настоящее время являются гребные винты. При решении задач, связанных с акустическими характеристиками подводных аппаратов (мониторинг водной среды, поисковые работы, патрулирование и т.д.), существенную роль играют низкочастотные дискретные составляющие шума вращения гребных винтов: «объемная» и «силовая», которые проявляются на частотах, кратных числу оборотов винта и количеству его лопастей. Физическая основа «объемного» шума обусловлена периодическими вытеснениями объемов жидкости в области диска винта вследствие телесности его лопастей (монополюсный источник), «силовая» — воздействием лопасти на среду (дипольный источник). Несмотря на то, что в шуме винта обычно доминирует уровень «силовой» составляющей, шум вытеснения является одним из важных компонентов акустического излучения системы «двигатель—корпус» и требует отдельного анализа. Определение гидроакустического поля системы «двигатель—упругий корпус» строгими аналитическими методами представляет значительные математические и вычислительные трудности и возможно лишь в некоторых частных случаях для тел простейших геометрических форм (сфера, сфероид, бесконечный цилиндр). В данной статье для оценки возможности применения численного подхода в первом приближении рассмотрена задача рассеяния звука упругим телом неаналитической формы под действием сосредоточенных источников, имитирующих низкочастотные пульсации, обусловленные «объемной» составляющей шума вращения. Заключение. В статье выполнены расчетные оценки характеристик рассеяния звука математической моделью корпуса подводного аппарата, возбуждаемой сосредоточенными источниками, расположенными вблизи ее кормовой оконечности. Источники имитируют низкочастотные пульсации, обусловленные «объемной» составляющей шума вращения гребного винта. Как показали полученные результаты, при уменьшении относительной длины конической оконечности модели и (или) увеличении ее волнового размера значения частотных характеристик рассеяния в целом возрастают, особенно на частотах контурных резонансов. При этом максимумы угловых характеристик с ростом волнового размера смещаются в траверсных направлениях с некоторым возрастанием обратного рассеяния. В рамках данного подхода возможно моделирование и дипольного характера излучения под действием периодических сил, возникающих вследствие гидродинамической нагрузки на лопасти гребного винта. Для этого необходимо ввести второй источник противоположного знака, расположенный на некотором расстоянии от первого, и вычислить суммарное давление от них в точке наблюдения. Замена газа-заполнителя вакуумом практически не сказывается на результатах расчетов характеристик рассеяния в данном диапазоне частот.

См. также **26.01-01.194**

Биологические эффекты шумов и вибраций

26.01-01.296 Звуковой ландшафт мегаполиса: влияние адаптации человека к звуковой среде на оценку ее качества. Канев Н.Г., Римская-Корсакова Л.К., Марголина И.Л., Комкин А.И. Акустический журнал. 2025, 71, № 5, с. 731-741. Рус.

Создание тихих зеленых зон для акустической разгрузки способствует улучшению качества жизни горожан в шумных городах, снижению уровня стресса и усилению уникальности городских пространств. Количественные меры оценки качества звуковой среды востребованы в процессах проектирования таких зон, обеспечивая гармонию между урбанистической динамикой и потребностью человека в тишине. Считается, что адаптация человека к звуковой среде приводит к тому, что жители мегаполисов перестают замечать раздражающие звуки, хотя это не отменяет их вредного воздействия на нервную систему, вызывая ее истощение. В интересах изучения свойств восприятия

звуковой среды в зависимости от ее свойств, а также степени адаптации жителей к среде, проведено перекрестное сопоставление оценок качества звуковых сред, а также значений акустических характеристик пространств на территориях, прилегающих к учебным корпусам двух ведущих университетов — МГУ и МГТУ, двумя группами респондентов. Первую группу составили 30 студентов третьего курса МГУ, вторую — 25 студентов третьего курса МГТУ. Для оценки качества звуковой среды применяли метод слуховой экспертизы, введенный международной организацией по стандартизации для анализа звуковых ландшафтов (ISO). Мы исходили из того, что студенты двух университетов хорошо адаптированы к звуковой и ландшафтной среде г. Москвы, а за годы обучения у них сформировалось устойчивое отношение к среде своего университета. Сравнение оценок качества звуковых сред и их акустических свойств указывает, что студенты из МГУ были менее чувствительны к громким *Шумам* и тихим *Звукам природы* на территориях двух университетов. Причиной таких различий могла быть адаптация студентов МГУ к среде своего университета, способствующая естественной аудиовизуальной разгрузке и повышающая психоэмоциональную устойчивость.

Воздействие шумов и вибраций на сооружения и технику

26.01-01.297 Эффективность совместного применения акустической эмиссии и вибродиагностики при оценке несущей способности композитного образца. *Мазутов Н.А., Матвиенко Ю.Г., Васильев И.Е., Фурсов В.Ю. Акустический журнал. 2025. 71, № 6, с. 892-906. Рус.*

Изучена эффективность применения акустико-эмиссионной диагностики совместно с вибродиагностикой и видеосъемкой для оценки несущей способности композитного образца, а также идентификации механизмов эволюции его разрушения при сжатии. Образец из многослойного высокопрочного углепластика перед испытанием на сжатие подвергался в центральной части ударному воздействию с энергией 90 Дж. До возникновения развивающихся макроповреждений в структуре материала амплитудные спектры, регистрируемые при проведении вибродиагностики, оставались практически постоянными. Картина резко изменялась при возникновении и развитии макроповреждений, что отражала скалограмма регистрируемых выбросов вибросигнала на характерных стадиях эволюции разрушения слоистого углепластика. Изучена динамика изменения пиковых частот локальных максимумов спектров амплитуд вибросигналов, генерируемых процессами смятия торцов образца, его расслаивания, локального выпучивания при прогибе, слома слоев при повышении сжимающей нагрузки до потери несущей способности углепластика. Применение вибродиагностики совместно с видеосъемкой позволило не только верифицировать результаты акустико-эмиссионной диагностики по оценке уровня несущей способности слоистого углепластика, но и отслеживать кинетику макро-повреждений в его структуре.

Структурная акустика и вибрации

26.01-01.298 Компьютерное моделирование аэродинамического обтекания и оценка пешеходной аэродинамической комфортности комплекса зданий. *Хазов П.А., Ведяйкина О.И. Омский научный вестник. 2024, № 3, с. 56-63. Рус.*

Приводятся и анализируются результаты компьютерного моделирования распределения ветровых потоков вблизи разноплановых объектов - большепролетного и высотного зданий. Анализ пешеходной аэродинамической комфортности проводился для вертикального объекта (высотное здание) отдельно и в комплексе с горизонтальным (большепролетное). Были получены поля распределения ветровых потоков. Результаты эксперимента показывают, что комплексная застройка влияет на их распределение. Изменяется вектор равнодействующей ветровой нагрузки. Меняется скорость и направление распределения ветровых потоков. Близкорасположенные здания либо создают «заслон», снижая скорость ветра, либо способны отра-

жать потоки воздуха, создавая завихрения вблизи объектов.

26.01-01.299 Экспериментальное исследование акустической эффективности звукопоглощающих конструкций на основе конического заполнителя. *Писарев П.В., Ахунзянова К.А. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2025, № 3, с. 224-228. Рус.*

Проведены экспериментальные исследования акустической эффективности звукопоглощающих конструкций с конусообразным заполнителем в установке «канал с потоком» при уровне звукового давления 130 дБ. С этой целью были разработаны геометрические модели и изготовлены образцы звукопоглощающих конструкций с помощью аддитивных технологий. По результатам экспериментов получены зависимости коэффициента потери акустического давления от частоты при наличии потока. Выявлено влияние потока на акустические характеристики рассматриваемых звукопоглощающих конструкций. Установлены закономерности снижения интенсивности акустической волны за счет взаимодействия взаимно перевёрнутых конусообразных ячеек и межконического пространства. Ключевые слова: звукопоглощающие конструкции, акустическая эффективность, резонансная частота, канал с потоком, конусообразные ячейки.

Поглотители слабых и интенсивных акустических волн

26.01-01.300 Шумопоглощающие свойства нанопористых керамических гранул диоксида кремния. *Зобов К.В., Бардаханов С.П., Гапоненко В.Р., Труфанов Д.Ю., Гармаев Б.З. Акустический журнал. 2025. 71, № 5, с. 648-658. Рус.*

Исследована возможность использования гранул, полученных из наноразмерных порошков диоксида кремния, в качестве материалов, поглощающих акустические колебания. Гранулы с размерами от сотен микронов до нескольких миллиметров были получены высушиванием во дных суспензий нанопорошков, дроблением сухих компактов с последующей классификацией по размерам. Получаемые материалы обладают открытой пористостью с порами нанометрового диапазона, объем которых составляет более 50% объема гранул. Затем они использовались как самостоятельный слой шумопоглощающего материала, а также в качестве модификатора поли мерных вспененных звукоизолирующих материалов, используемых, в частности, в автомобилях. Показано, что для гранулированных нанопористых материалов на основе наночастиц возможно нахождение оптимальных конфигураций в зависимости от требуемого диапазона частот подавления акустических колебаний. Использование насыщенного слоя такого материала толщиной 10 мм подняло коэффициент шумопоглощения подложки до значений выше 0.5 для частот от 400 до 1600 Гц. Результаты могут быть полезны для построения новых теоретических подходов в механике сплошных сред, в частности, в акустической физике.

См. также **26.01-01.299**

Шумоизоляция

26.01-01.301 Цифровая модель плоской ограждающей конструкции для оценки звукоизоляции при косом падении волны. *Попов Ю.Н. Труды Крыловского государственного научного центра. 2025, № 413, с. 131-140. Рус.*

Объект и цель научной работы. Решение прикладных задач акустики часто ограничено определенными приближениями и сопряжено с необходимостью проведения сложных расчетов по распространению и излучению волн. Развитие цифровых технологий способствует расширению круга решаемых задач, но результаты при техническом обсуждении подвергаются определённому недоверию и указанию на необходимость сравнения с простыми и общепризнанными моделями. Целью работы является обсуждение прикладных вопросов, касающихся разработки цифровых моделей для задач, связанных с вопросами оценок звукоизолирующей и шумозаглушающей эффективностей различных ограждающих и корпусных конструкций. По аналогии с теоретическими методами основным объектом исследований

выбрана бесконечно протяженная пластина. Для данного объекта известны точные теоретические методы расчета звукоизоляции, которые многократно перепроверены экспериментально в стендовых и натуральных условиях и подходят для верификации цифровой модели. Материалы и методы. Выполнен анализ основных инженерных методов количественной оценки звукоизоляции бесконечно протяженной тонкой преграды. Отмечены основные положения теории изгибных колебаний пластины, позволяющей количественно описывать физический процесс прохождения звуковых волн. Использован метод конечных элементов для цифровой модели оценки звукоизоляции тонкой однородной пластины при косом падении волны. Основные результаты. Основными результатами являются расчеты звукоизоляции упругой пластины в диапазоне частот при различных углах падения плоской волны, полученные независимо с помощью цифровой модели и известных аналитических методов, а также их сравнение с экспериментом. Полученные результаты позволяют оценить достижимую точность оценки звукоизоляции в задачах при моделировании ограждающих и корпусных конструкций. Заключение. Реальные ограждающие или корпусные конструкции могут иметь сложную систему подкреплений или различных конструктивных параметров, влияние которых по отдельности теоретически оценить сложно. Цифровые технологии в данном контексте имеют ряд преимуществ, но для достоверного результата при их применении должны соблюдаться строгие правила моделирования, которые можно отработать на простых моделях с изученными физическими процессами. В перспективе представляет интерес совместная разработка комплекса цифровых моделей на основе общеизвестных задач шумоизоляции и вибропоглощения, результаты которых могут быть полезны как студентам старших курсов и начинающим инженерам, так и специалистам в области акустической защиты. Ключевые слова: звукоизоляция, закон массы, метод конечных элементов, изгибные волны в пластине.

26.01-01.302 Номенклатура современных акустических материалов, перспективы формирования единой базы данных. Колмаков А.В. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 40. Рус.

В исследовании освещена проблематика подбора отделочных материалов по их звукопоглощающим свойствам. При проектировании зальных пространств выполняется акустический расчет с целью подбора материалов отделки исходя из эстетических и акустических характеристик. На данный момент рынок акустических материалов в РФ достаточно широк. Однако зачастую большинство продавцов не имеют данных по звукопоглощению на продаваемый ими акустический материал (отсутствует протокол испытаний на звукопоглощение). В результате затрудняется и увеличивается по времени подбор материалов при создании эстетически привлекательного и качественного с точки зрения акустики интерьера. Проведен мониторинг продаваемой акустической продукции на рынке РФ и анализ представления продаваемой продукции по наличию на сайте следующих разделов: протокола измеренного коэффициента звукопоглощения на ключевых частотах согласно СП 51; толщина материала или конструкции; инструкции и рекомендации по монтажу; наличие различных сертификатов; калькулятор стоимости (учитывающий стоимость всех сопутствующих материалов и крепежа); наличие электронной модели в формате BIM и пр. Предложено решение по формированию единой базы современных акустических материалов. Ключевые слова: акустические материалы, база данных, время реверберации, коэффициент звукопоглощения, акустика.

26.01-01.303 Звукоизоляция дифракционной решетки из жестких экранов конечной длины. Долгер А.Р., Канев Н.Г. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 41. Рус.

Решена задача о дифракции плоской звуковой волны на периодической решетке жестких экранов. Найдены коэффициенты отражения и прохождения, особое внимание уделено поиску условий, при которых коэффициент прохождения существенно меньше 1, т.е. когда решетка обладает звукоизолирующими свойствами. Проанализирована зависимость коэффициента

прохождения от периода решетки, длины экрана и угла падения. Представленные результаты могут быть использованы для расчета снижения шума ограждениями ламельного типа. Ключевые слова: дифракция, дифракционная решетка, коэффициент прохождения, экран конечной длины.

26.01-01.304 Практика применения легких бетонов в строительстве многоэтажных домов в качестве межквартирных перегородок. проблемы с изоляцией воздушного шума перегородками из легкого бетона и методы их решений. Марковская Д.М., Поветин Д.А., Фадеев А.С. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 41. Рус.

Для ранее рассмотренной проблемы низкой изоляции воздушного шума перегородки из поризованных бетонов невысокой плотности предложена корректировка действующей нормативной базы в области строительной акустики в РФ. Представлены методы увеличения изоляции воздушного шума перегородкой из поризованных бетонов для возможности ее использования в качестве межквартирной стены. Ключевые слова: строительство многоэтажных домов, изоляция воздушного шума, межквартирная перегородка, поризованные бетоны невысокой плотности, звукоизоляция.

26.01-01.305 Численное моделирование звукоизоляции пластины в условиях диффузного поля. Легуша Ф.Ф., Лисенков Н.М., Попов Ю.Н., Чижев В.Ю. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 80. Рус.

В определении звукоизоляции конкретных промышленных изделий удобно пользоваться инженерными методами. Расчетные формулы данных методов, как правило, получены для упрощенной модели конструкции в виде однородной плоской пластины или системы плоских слоев. Акустическое поле задается в приближении плоской монохроматической волны при косом падении, то есть идеализированном случае, далеко от практики, или в виде диффузного поля. При этом приближение диффузного поля часто является малоприменимым для оценки звукоизоляции из-за зависимости результата от расстояния до источника звука, а также трудно выполнимых требований равномерного углового распределения средних потоков энергии, некогерентности волн, равенства средней плотности звуковой энергии. В решении проблемы совершенствования методов оценки акустических характеристик реальных конструкций и источников представляют практический интерес возможности численных методов. В работе приводится опыт численного моделирования диффузного акустического поля и расчет звукоизоляции для упругой ограниченной пластины. Полученные результаты на расчетной модели сравниваются с экспериментальными результатами измерения звукоизоляции пластины в реверберационной камере, позволяющей реализовать на практике условия диффузности поля. Анализируются технические сложности при численном моделировании условий диффузного поля и достижимая точность в оценке звукоизоляции пластины. Ключевые слова: звукоизоляция, диффузное поле, акустическое давление, плоская волна, численные методы.

Активные методы подавления шума

26.01-01.306 Сравнение эффективности методов уменьшения интегрального уровня излучения монополюсного источника. Фикс И.Ш., Фикс Г.Е. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5, с. 742-750. Рус.

Рассмотрены задачи снижения интегрального уровня излучения монополюсного источника активным методом с использованием сложного сферического излучателя и пассивным методом, использующим простой поглотитель (согласованная сфера). Произведено сравнение эффективности активного метода с применением процедуры, позволяющей получить устойчивое решение по отношению к случайным ошибкам в элементах активной системы и пассивного метода компенсации. Продемонстрировано, что для небольших величин ошибок и малых размеров сферы более эффективен активный метод компенсации, для больших размеров сферы — пассивный метод.

Акустика помещений; Музыкальная акустика

Акустика концертных залов

26.01-01.307 Исторические трансформации в архитектурно-акустическом проектировании концертных залов и залов оперных театров. Глухова А.В., Аleshкин В.М., Перетокин А.В. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 36. Рус.

В работе представлен исторический обзор развития архитектурно-акустического проектирования концертных залов и залов оперных театров. Рассмотрен период Античности и эпохи Возрождения в соответствии с видами музыкального искусства, период появления классической формы shoebox и театральной «подковы», а также залы класса «А» Лео Беранека рубежа XIX—XX вв. Уделено внимание первым методам акустического проектирования зальных помещений. Представлены современные устойчивые типы форм концертных залов, являющиеся результатом накопленного архитектурно-акустического опыта. Ключевые слова: концертные залы, залы оперных театров, архитектура, архитектурная акустика.

26.01-01.308 Обзор свода правил 51.13330.2011 в части алгоритма акустического проектирования зальных помещений и предложения по его оптимизации. Лившиц А.Я., Перетокин А.В. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 36. Рус.

В настоящее время в России основным документом, который регламентирует акустическое проектирование зальных помещений (в т.ч. концертных залов и зрительных залов театров), является Свод правил 51.13330.2011 «Защита от шума». Раздел 13 свода правил содержит рекомендации по созданию оптимальных условий формы и соотношения геометрических размеров залов, рекомендации по отделке, а также рекомендованные значения времени реверберации для залов различного функционального назначения в зависимости от их воздушного объема. Однако опыт акустического проектирования и строительства зальных помещений за последние десятилетия выявил ряд противоречий, неточностей и недостатков рекомендаций раздела 13 свода правил. В статье приведен анализ данных противоречий и недостатков, предложены рекомендации по коррекции и оптимизации раздела 13 свода правил. Ключевые слова: зрительный зал, концертный зал, время реверберации, акустические параметры.

26.01-01.309 Архитектурная акустика зрительного зала. Критерии оптимального времени реверберации. Исаков Ю.И. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 36-37. Рус.

Время реверберации является важным параметром оценки акустического качества архитектуры зрительного зала. В действующих строительных нормах оптимальное время реверберации связано с назначением и объемом зрительного зала. Однако оптимальное время реверберации в большей степени зависит от характеристик источника звука и музыкального произведения. В работе анализируются результаты исследований, которые позволяют расширить критерии выбора оптимального значения времени реверберации. Ключевые слова: архитектура зрительного зала, оптимальное время реверберации, акустическое качество архитектуры, уровень звукового давления, сила звука.

26.01-01.310 Моделирование акустических характеристик зрительных залов: физическая и компьютерная модели. За и против. Лившиц А.Я., Ширгина Н.В. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 37. Рус.

Предвидение акустических условий в зрительном зале на этапе проектирования его геометрических параметров и выбора отделочных материалов является очень ответственной задачей. Получение зала с неудовлетворительными акустическими характеристиками обесценивает его строительство. На протяжении 20-го века для моделирования акустики использовались масштабные модели. В 21 веке в основном используются ком-

пьютерные математические модели. В статье описаны плюсы и минусы каждого способа моделирования. Ключевые слова: физическое моделирование, компьютерное моделирование, акустические параметры, зрительный зал.

26.01-01.311 Влияние акустических характеристик сценической коробки на общее звуковое поле театрального зала. Шевцов С.Е. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 37. Рус.

В статье приводятся сравнительные данные частотной характеристики времени реверберации сценической коробки и зрительской части на примере нескольких театров. Данные архитектурные типы существенно отличаются друг от друга, что вызывает отличие и в их звуковых полях. Обсуждаются расхождения полученных функций двух типов между собой и формулируются соответствующие предпосылки для корректировки общего звукового поля театрального зала. Ключевые слова: акустические измерения, акустические параметры театра.

26.01-01.312 Акустические характеристики зрительных залов консерватории им. Н. А. Римского-Корсакова в Санкт-Петербурге после реконструкции. Лившиц А.Я., Канев Н.Г., Перетокин А.В. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 37. Рус.

В 2025 г. было введено в эксплуатацию после работ по реконструкции и реставрации здание консерватории в Санкт-Петербурге. В здании расположено 2 зрительных зала: Большой зал им. А. Рубинштейна, рассчитанный на 1228 зрительских мест, и малый зал им. М.И. Глинки на 600 зрительских мест. В работе описаны архитектурно-строительные и акустические решения, примененные в залах при реконструкции для создания благоприятных акустических условий, а также приведены результаты измерения акустических параметров. Ключевые слова: акустические параметры, зрительный зал, время реверберации.

26.01-01.313 Акустические характеристики зрительных залов после реконструкции театра киноактера в Москве. Лившиц А.Я., Жукова В.О., Фадеев А.С. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 38. Рус.

В 2025 г. было введено в эксплуатацию после реконструкции здание Театра Киноактера в Москве. В здании расположено 3 зрительных зала: Большой зал, рассчитанный на 600 зрительских мест, Малый универсальный зал, вмещающий 80 зрителей, и ВИП-кинзал на 12 мест. В работе описаны архитектурно-строительные и акустические решения, примененные в залах для создания благоприятных акустических условий, а также приведены результаты измерения акустических параметров. Ключевые слова: акустические параметры, зрительный зал, время реверберации.

26.01-01.314 Акустические характеристики зрительных залов нового драматического театра им. Г. Камала в Казани. Лившиц А.Я., Жукова В.О., Перетокин А.В., Ширгина Н.В. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 38. Рус.

В 2025 г. было введено в эксплуатацию новое здание драматического театра им. Галиасгара Камала в г. Казани Республики Татарстан. В здании расположено 4 зрительных зала: Большой зал, рассчитанный на 750 зрительских мест, Восточный зал, вмещающий 250 зрителей, Универсальный зал, вместимость которого составляет 300 зрителей, и Камерный зал на 61 место. В работе описаны архитектурно-строительные и акустические решения, примененные в залах для создания благоприятных акустических условий, а также приведены результаты измерения акустических параметров. Ключевые слова: акустические параметры, зрительный зал, время реверберации.

26.01-01.315 К вопросу о диапазоне оптимальных значений времени реверберации в школьных классах. Субботкин А.О., Аleshкин В.М., Стукало А.А., Числов Д.С., Тюрин А.С. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 38. Рус.

Нормативные и рекомендательные документы многих стран мира в части акустики школьных классов ставят требования к оптимальным значениям времени реверберации в них. При этом диапазон рекомендуемых значений довольно широк — в зависимости от документа от 0,4 до 0,8 секунд. В докладе представлены результаты анализа влияния времени реверберации и его частотной неравномерности на индекс передачи речи (STI). Показано, что в данном частотном диапазоне времени реверберации в классе действительно можно обеспечить значения STI на уровне «хорошо», однако, учитывая звукопоглощающие свойства сидящих за партами учеников, в наиболее распространенных типоразмерах классов (объемом от 100 до 300 м³) добиться предельно допустимой частотной неравномерности времени реверберации возможно только в более узком диапазоне оптимальных значений — от 0,4 до 0,6 секунд. Ключевые слова: архитектурно-строительная акустика, акустика речевых помещений, акустика классных помещений, акустика учебных помещений, нормирование акустики учебных помещений.

26.01-01.316 Акустические проблемы новых учебных аудиторий МГТУ им. Н.Э. Баумана. Петрова Е.В., Маломотова А.Д., Комкин А.И., Канев Н.Г. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 39. Рус.

В 2024 г. завершилось строительство нескольких новых учебных корпусов МГТУ им. Н.Э. Баумана, в которых располагаются учебные аудитории разной вместимости. После проведения первых занятий преподаватели и студенты оценили акустическое качество некоторых аудиторий как неудовлетворительное. В связи с этим было проведено акустическое обследование аудиторий, в рамках которого измерены время реверберации и индекс передачи речи STI. Установлено, что в некоторых аудиториях время реверберации вдвое превышает нормативные значения, а разборчивость речи недостаточна для учебного помещения. Проведен анализ архитектурного решения наиболее проблемных аудиторий, по результатам которого установлено, что звукопоглощающие материалы в отделке помещений применены, но в совершенно недостаточном объеме. Это, очевидно, указывает на ошибки, допущенные при проектировании. Обсуждается необходимость введения стандартов проектирования учебных помещений школ, ВУЗов или других учебных заведений. Ключевые слова: время реверберации, разборчивость речи, акустический комфорт, акустическое проектирование.

26.01-01.317 Оценка времени реверберации больших спортивных арен с учетом зрителей. Волченко И.С., Канев Н.Г., Перетокин А.В., Фадеев А.В. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 39. Рус.

Время реверберации — один из важных акустических параметров спортивно-зрелищных сооружений большой вместимости, значения которого нормируются. Однако в действующей нормативной документации его оптимальные значения приводятся при заполнении арен зрителями на 70%. Осуществить измерение времени реверберации при наличии зрителей с практической точки зрения крайне затруднительно для помещений, рассчитанных на сотни и тысячи человек, а единая методика пересчета значений времени реверберации, полученных в пустой арене, на заполненное зрителями помещение отсутствует. В статье поднимается вопрос учета зрителей при оценке акустики спортивно-зрелищных сооружений, и рассматриваются возможные методы пересчета значений времени реверберации, измеренных в помещениях без зрителей, для определения их соответствия нормативным требованиям. Ключевые слова: спортивные арены, время реверберации, нормирование, заполнение зрителями, акустический комфорт.

26.01-01.318 Анализ особенностей затухания звука в мечетях. Аleshкин В.М., Канев Н.Г. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 40. Рус.

Крупные культовые сооружения — храмы и мечети — традиционно являются объектами с особыми акустическими условиями. В силу отсутствия звукопоглощения в интерьере, большого воздушного объема и канонических особенностей объемно-планировочных решений в храмах и мечетях обычно фиксируется повышенное время реверберации, акустические дефекты и недостаточная речевая разборчивость даже при использовании систем звукоусиления. В работе рассматриваются особен-

ности затухания звука в молельных залах крупных соборных мечетей, в т.ч. на основе анализа откликов, измеренных натурно в ряде мечетей (Москва, Казань, Ташкент, Алжир) и рассчитанных в компьютерных моделях. Выявлено, что в некоторых случаях затухание звука имеет не диффузный характер. Рассматриваются локальные критерии акустического качества и их корреляция с характером кривой затухания звука. Приводятся выводы о возможных причинах рассматриваемого явления, такие как неравномерное распределение звукопоглощающей отделки (ковры, люди на полу), влияние объемно-планировочных решений, наличие связанных объемов. Ключевые слова: архитектурно-строительная акустика, акустика мечетей, реверберация, акустические измерения.

Акустика жилых помещений

26.01-01.319 Моделирование волновых процессов в акустике помещений на основе метода трассировки лучей. Сумбатян М.А., Бараева Д.С. Мат. моделир. 2026. 38, № 1, с. 23-41. Рус.

Излагаются основы метода трассировки лучей с подробным описанием его алгоритмической реализации. Метод широко используется и является основным при исследовании акустических свойств помещений, для которых значимым является качество звучания. В качестве примера фундаментальные основы метода демонстрируются при оценке акустических свойств тестового помещения.

См. также **26.01-01.304**

Акустика духовых инструментов

26.01-01.320 Определение характеристик звуковых отверстий с конусообразной подрезкой в деревянных духовых музыкальных инструментах. Герасимов Р.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 42. Рус.

Рассмотрено влияние наличия и величины конусообразной подрезки тональных отверстий деревянных духовых инструментов на изменение эквивалентной длины отверстия и смещение собственных частот цилиндрического (кларнет) и конусообразного (гобой, фагот, саксофон) воздушных каналов с таким отверстием. В низкочастотном приближении приведена методика и формулы для численного расчета, позволяющие определять величину эффективного радиуса для открытого и закрытого звукового отверстия с переменным поперечным сечением. Методом передаточных матриц определены собственные частоты воздушного канала с одним отверстием и проведено сравнение с результатами компьютерного моделирования в пакете программного обеспечения COMSOL Multiphysics 6.1. На основе экспериментов МКЭ по определению параметров матрицы передачи тонального отверстия с подрезкой (шунтирующий и последовательный импедансы) получены полуэмпирические формулы для расчета его эквивалентной длины. Показано, что увеличение степени подрезки звукового отверстия приводит к росту его эффективного радиуса, что повышает резонансные частоты в случае открытого отверстия и понижает в случае закрытого. Ключевые слова: деревянные духовые музыкальные инструменты, низкочастотное приближение, метод передаточных матриц, метод конечных элементов (МКЭ), эквивалентная длина отверстия.

Общие вопросы архитектурной акустики

См. **26.01-01.302**

Общие вопросы строительной акустики

26.01-01.321 Комплексный подход к расчету и проектированию сейсмостойких железобетонных зданий и сооружений. Мкртычев О.В., Решетов А.А. Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2025, № 5, с. 206-226. Рус.

Представлен современный комплексный подход к расчету железобетонных зданий с учетом взаимодействия конструкции

с грунтовым основанием в условиях сейсмического воздействия. В качестве примера подход был применен при расчете пятиэтажного железобетонного здания на сейсмическое воздействие. Внешнее воздействие задавалось трехкомпонентной акселерограммой девятибалльного землетрясения, взаимодействие здания с грунтовым основанием было реализовано посредством SSI-интерфейса (англ. soil-structure interaction). Для предотвращения влияния отраженных от границ ограниченного грунтового массива волн использовался PML-слой (англ. perfectly matched layer). Железобетонные конструкции моделировались с применением метода взаимодействия объемных элементов бетона с балочными элементами арматуры. Моделирование проводилось с применением технологии распределенных вычислений на вычислительном кластере. Проведено исследование характера разрушения сооружения. Проведен сравнительный анализ исходной акселерограммы свободной поверхности грунта и ускорения фундаментной плиты сооружения. При соответствующей адаптации и применении высокопроизводительных вычислительных систем методика может быть использована в инженерной практике для повышения надежности расчетов сейсмостойкости железобетонных зданий.

См. также **26.01-01.298**

Обработка акустических сигналов; Компьютерное моделирование

26.01-01.323 Влияние условий контакта между пьезопреобразователем и упругим слоем на особенности возбуждения фундаментальных и высших волн Лэмба. *Нец П.А., Евдокимов А.А., Татаркин А.А., Еремич А.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 80-81. Рус.

Обсуждаются результаты компьютерного моделирования и экспериментального изучения особенностей возбуждения бегущих упругих волн (волн Лэмба) в изотропном слое поверхностным пьезопреобразователем. Используемая в работе вычислительная схема основана на гибридном численно-аналитическом подходе (Е.В. Глушков, Н.В. Глушкова, А.А. Евдокимов, *Акуст. журн.* 64(1) (2018) 3—12), сочетающем конечно-элементные расчеты для ограниченной области, содержащей пьезоактуатор, и представления волнового поля в оставшихся полубесконечных однородных частях волновода в виде суперпозиции нормальных мод. Исследовано влияние различных типичных для инженерной практики условий контакта между пьезоэлементом и упругим слоем (контакт без трения, моделирующий установку пьезоактуатора с использованием ультразвукового геля, контакт через клеящую прослойку с различными упругими свойствами) на амплитудно-частотные характеристики фундаментальных и высших волн Лэмба, а также на особенности распределения волновой энергии между отдельными нормальными модами. Для экспериментальной верификации полученных результатов с использованием лазерной виброметрии проводились измерения ультразвуковых колебаний в образцах из алюминия, возбуждаемых устанавливаемыми на их поверхность пьезокерамическими преобразователями в форме прямоугольных пластин. В качестве контактной среды применялся ультразвуковой гель, цианакрилатный клей или тонкая двухсторонняя клеящая пленка. Для широкого диапазона частот наблюдается хорошая согласованность между расчетными и экспериментальными относительными амплитудами отдельных волн Лэмба, в том числе и высших, в зависимости от условий контакта между пьезоактуатором и упругой подложкой. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № FZEN-2024-0003. Ключевые слова: бегущие упругие волны, поверхностные пьезоэлементы, клеящая прослойка, возбудимость нормальных мод.

Компьютерная обработка результатов эксперимента

26.01-01.324 Универсальный метод восстановления

Общие вопросы музыкальной акустики

26.01-01.322 Акустика певческого голоса: сравнительный анализ отечественных исследований, опыт их практического применения. *Давиденкова-Хмара Е.Ш.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 42. Рус.

Доклад посвящен сравнительному анализу ведущих отечественных исследований акустики певческого голоса, начиная с XVIII века и заканчивая современностью. Изучение законов постановки и раскрытия певческого голоса издавна интересовало российских ученых и музыкантов-практиков. Вопросы о том, как правильно организовать дыхание и работать с голосовым аппаратом поднимались в отдельных научно-практических работах, а также рассматривались в отечественных школах пения. В XX веке ведущей отечественной теорией, посвященной певческому голосу, стала «резонансная теория пения», автором которой является В.П. Морозов. В Санкт-Петербургской Консерватории в эти же годы была разработана еще одна теория акустики пения, автор ее В.И. Юшманов. Раскрытию этой теории посвящена его книга «Вокальная техника и ее парадоксы». В докладе также рассматривается практическое применение основных идей, сформулированных на базе данных теорий. Ключевые слова: акустика певческого голоса, академическое пение.

ления звуковых сигналов из сжатого структурированного представления. *Сергеев И.С., Балакирев Н.Е.* *Труды МАИ.* 2025, № 144, с. <https://trudymai.ru/published.php?ID=186307>. Рус.

Описывается метод восстановления и воспроизведения звуковых сигналов, представленных в сжатом структурированном виде. Основной задачей является реализация универсального механизма восстановления звукового потока в оперативной памяти и его последующего воспроизведения в реальном времени, независимо от применённой схемы оптимизации. Разработанная программная система обеспечивает загрузку сжатых файлов собственных форматов CUWAV, преобразование их содержимого в звуковой поток формата WAV, передачу потока в звуковое устройство и визуализацию сигнала в виде масштабируемой осциллограммы. Предложенный метод позволяет использовать систему в качестве универсального расширяемого модуля в составе технических комплексов анализа, мониторинга или архивации звуковых данных.

См. также **26.01-01.55, 26.01-01.172, 26.01-01.231, 26.01-01.292**

Компьютерный эксперимент и численное решение классических линейных задач

См. **26.01-01.306**

Численное решение обратных задач

См. **26.01-01.229**

Акустическая голография и томография

26.01-01.325 Влияние помех при использовании фазовой информации в задаче акустической томографии. *Дмитриев К.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 24. Рус.

Восстановление акустических характеристик среды по данным о распространении через нее звука относится к сложным математически некорректным задачам, нелинейным относительно искомым величин. Возможность получения приемлемых оценок существенно ограничена как объемом экспериментальных данных, так и различными помехами. Среди них можно выделить аддитивные и мультипликативные помехи, а также помехи, вызванные неточностью в определении положе-

ний источников и приемников поля. Представлены результаты восстановления неоднородностей, обладающих разным контрастом акустических характеристик, с помощью борновских, итерационных и функциональных алгоритмов в присутствии помех. При одинаковой среднеквадратичной ошибке, вносимой в экспериментальные данные различными помехами, неточность позиционирования приводит к наибольшему ухудшению качества восстановления, вплоть до его невозможности. Это связано с тем, что рассмотренные алгоритмы в значительной мере используют фазовую информацию зарегистрированных сигналов, которая чувствительна к смещению аппаратуры в пределах длины волны. Продемонстрирована работа алгоритмов безфазовой томографии. Подобные методы основаны на обработке мощности сигнала или на компенсации дополнительных неизвестных набегов фазы. Их применение позволяет существенно улучшить устойчивость восстановления неоднородности в условиях неточностей позиционирования. В то же время отсутствие фазовой информации может снижать качество результата, когда преобладающими являются помехи аддитивного и мультипликативного типов. Исследование поддержано грантом РНФ № 24-22-00192, <https://rscf.ru/project/24-22-00192/>. Ключевые слова: безфазовая томография, итерационные алгоритмы, функциональные алгоритмы.

26.01-01.326 **Модельное восстановление акустических характеристик мягких биотканей при ультразвуковом томографировании.** *Зотов Д.И., Румянцев О.Д. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 84. Рус.*

Рассматривается задача акустической томографии — восстановление внутренней структуры исследуемого объекта в виде неоднородных пространственных распределений (томограмм) скорости звука и коэффициента поглощения. С этой целью объект последовательно облучается зондирующим полем со всех сторон, и рассеянные (прошедшие через объект) поля регистрируются приемниками также со всех сторон. Такая всесторонняя информация, в сочетании со специально разработанными алгоритмами обработки томографических данных, позволяет обеспечивать желаемую высокую разрешающую способность восстановленных изображений — вплоть до половины характерной длины волны. Один из алгоритмов обработки — двухшаговый. На первом шаге алгоритма с помощью импульсного режима зондирования восстанавливаются крупномасштабные (с характерным размером в несколько длин волн) неоднородности. На втором шаге восстанавливается тонкая структура объекта, т.е. мелкомасштабные детали (с минимальным размером около одной трети длины волны), которые наиболее информативны для диагностических целей. Показано, что тонкая структура может быть восстановлена адекватно только при учете неоднородного крупномасштабного фона, оцененного на первом шаге. Алгоритм восстановления совсем другого типа — это функциональный алгоритм, который хорошо адаптируется для решения акустических задач томографического типа. В отличие от двухшагового алгоритма, в процессе восстановления не происходит разделения структуры исследуемого объекта на крупномасштабные и мелкомасштабные составляющие. Высокая разрешающая способность сохраняется благодаря строгому учету процессов многократного рассеяния акустических волн. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-00192, <https://rscf.ru/project/24-22-00192/>. Ключевые слова: акустическая томография, высокое разрешение, количественные характеристики.

26.01-01.327 **Использование акустической голограммы в качестве обращаемого зеркала для нахождения положения и формы излучающей поверхности ультразвукового преобразователя.** *Сапожников О.А., Пысарь С.А., Росницкий П.В. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 91. Рус.*

Акустическая голография является перспективным практическим инструментом для исследования характеристик ультразвуковых преобразователей. Определенная сложность при использовании акустических голограмм заключается в том, что положение излучающей поверхности относительно области записи голограммы известно лишь приблизительно, поэтому об-

ратная проекция волнового поля происходит, вообще говоря, не на колеблющуюся поверхность, а на некоторую поверхность в ее окрестности. Это вносит существенные искажения, особенно в распределение фазы на излучающей поверхности. Еще одной практической проблемой является неопределенность в определении реальных размеров и формы источника ультразвука. Обычно размеры задаются на основе геометрических размеров, а форма предполагается идеально сферической или плоской. В реальности параметры преобразователя отличаются от номинальных, что может приводить к заметным ошибкам в описании излучаемых полей. Таким образом, важной частью исследования характеристик ультразвуковых преобразователей является определение формы и размеров излучающей поверхности, а также ее положения в пространстве. В настоящем докладе представлен метод решения этой задачи. Метод основан на концепции зеркала, обращающего время. Такое зеркало можно смоделировать на основе нестационарной голограммы, которая измеряется путем регистрации акустического сигнала в большом количестве точек на плоской площадке, расположенной напротив исследуемого излучателя. Этот процесс фактически представляет собой синтез двумерной приемной решетки, осуществляемый путем импульсного возбуждения источника одним и тем же сигналом и приема сигнала при различных положениях гидрофона. При использовании голограммы для численного восстановления пространственной структуры поля в предыдущие моменты времени эта синтезированная решетка выступает в качестве излучающей решетки. Численное моделирование позволяет, в частности, найти пространственное распределение акустического давления в начальный момент времени и на его основе определить положение и форму излучающей поверхности. Ключевые слова: акустическая голография, характеристика ультразвуковых излучателей.

26.01-01.328 **Коррекция акустической голограммы при помощи независимого измерения скорости звука.** *Пысарь С.А., Саматов А.А., Сапожников О.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 91-92. Рус.*

Определение реальной пространственно-временной структуры акустического поля является критически важным для ряда приложений ультразвука, среди которых особые требования предъявляют медицинские и метрологические области. Акустическая голография является мощным перспективным инструментом, позволяющим по измерению поля акустического давления вдоль некоторой поверхности перед излучателем определить полную структуру поля. При этом предполагается, что в процессе измерений параметры среды распространения остаются постоянными. В настоящее время измерения ультразвуковых полей в рамках метода акустической голографии проводятся, как правило, с использованием метода апертурного синтеза, который для источников больших волновых размеров может занимать продолжительное время (вплоть до нескольких часов), в течение которого трудно обеспечить стабильность свойств среды. Одним из основных параметров, способных заметно влиять на качество голограммы, является температура, нестабильность которой может приводить к существенным фазовым отклонениям за счет неконтролируемого изменения скорости звука в среде. В работе предложен метод коррекции голограммы по данным одноканальной эхо-импульсной системы независимого непрерывного измерения скорости звука. Проведено сравнение результатов с предложенным ранее методом компенсации по данным непрерывного измерения температуры в нескольких точках. Показано, что предложенные методы компенсации позволяют обеспечить уровень отклонения до 10% относительно термостабильной голограммы при ошибках до 50% без компенсации. Ключевые слова: акустическая голография, ультразвуковые излучатели, калибровка акустических полей, термокомпенсация.

См. также **26.01-01.207**

Обращение фронта и времени, адаптивные системы

См. **26.01-01.114**

Акустика живых систем; Биологическая акустика

26.01-01.329 Судебная акустика в эпоху цифры (обзор экспертной практики). *Курьянова И.В., Потапова Р.К., Потапов В.В. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 28. Рус.*

В условиях глобальной цифровой трансформации всех сфер жизни общества проблема противодействия преступлениям, совершаемым с использованием современных технологий, в частности нейросетевого моделирования, существенно усложняется, и качественно изменяются задачи, стоящие перед судебной акустикой. Правонарушения, совершаемые посредством обработки речевого сигнала, чрезвычайно разнообразны. Общеизвестность профессиональных звукозаписывающих устройств, специализированных программ по обработке речевого сигнала, свободный доступ к нейросетям приводят к постоянной модификации способов совершения противоправных действий злоумышленниками с использованием голоса. Перед современной криминалистикой, широко использующей методы судебной речевой акустики, стоят такие проблемы, как монтаж цифровой звукозаписи, фальсификация речевого сигнала в преступных целях, технология голосовых дипфейков (поддельных аудиозаписей). Разнообразие программ обработки речевого сигнала и развитие и совершенствование возможностей нейросетей привели к необходимости разработки новых алгоритмов исследования речевого сигнала для противодействия кибермошенничеству и другим преступлениям, совершаемым с применением высоких технологий на основе преобразований голоса и речи. Ключевые слова: речевая акустика, аналоговая звукозапись, цифровая звукозапись, монтаж цифровой звукозаписи, обработка речевого сигнала, нейросети, дипфейки.

26.01-01.330 Оценивание шумовой составляющей речевого сигнала. *Мещеряков Р.В. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 28. Рус.*

Развитие современных технологий в обработке и генерации речевого сигнала решает множество проблем и позволяет повысить эффективность работы с ним. Вместе с тем остаются вопросы по обработке в условиях сложных шумов. Очевидно, что элементы технологий искусственного интеллекта позволяют проводить шумоочистку и выделять необходимые признаки, однако в ряде случаев требуется оценивать сам шум (или шумоподобный сигнал). В докладе предлагается классификация шумов и подходы к их использованию для решения некоторых задач. Ключевые слова: речевой сигнал, шум, акустика речи, естественная информация, энтропия.

Действие акустических колебаний на биологические среды и живые организмы

26.01-01.331 Математическая модель низкотемпературного воздействия на биоткани. *Кудаева Ф.Х. Математическая физика и компьютерное моделирование. 2025. 28, № 2, с. 27-38. Рус.*

Работа посвящена моделированию процесса низкотемпературного воздействия на биоткани при деструкции тканей сферическими и полусферическими аппликаторами в одномерном приближении. Решена стационарная задача с фазовыми переходами для модели на основе уравнения типа Эмдена–Фаулера. Решение нестационарной задачи найдено в виде суммы тепловых потенциалов. Обсуждаются алгоритмы, которые легли в основу программных комплексов. Проведены некоторые численные решения при различных условиях. Построена математическая модель гипотермии, основанная на интегральном уравнении.

26.01-01.332 Сравнительный анализ методов фильтрации шума при низкотемпературном воздействии на биоткани. *Кудаева Ф.Х. Математическая физика и компьютерное моделирование. 2025. 28, № 3, с. 50-66. Рус.*

Проблема с помехами и шумами возникает при воздействии низких температур на слоистую структуру эпидермиса биологических тканей. Фильтрация шума необходима для получения

точного сигнала, который используется для анализа и интерпретации данных. В работе проводится сравнительный анализ методов фильтрации шума, применяемых при изучении низкотемпературного воздействия на биологические ткани. Проведенный анализ учитывает уникальные аспекты низкотемпературного воздействия, характеристики шума, а также требования к точности и интерпретации данных. Новизна результатов заключается в систематическом и комплексном подходе к оценке эффективности и применимости методов фильтрации шума именно в контексте области исследования тепловых процессов, связанных с низкотемпературным воздействием на биологические ткани. Полученные результаты сыграют важную роль для повышения точности диагностики и лечения в здравоохранении, будут способствовать расширению возможности биологических исследований, а также разработке более эффективных методов фильтрации шума и более достоверным результатам исследования в таких важных областях.

26.01-01.333 Исследование упругих свойств биотканей методами оптической когерентной томографии. *Зайцев В.Ю. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 3-4. Рус.*

Оптическая когерентная томография (ОКТ) была предложена в 1991 г., на несколько десятилетий позднее, чем такие хорошо известные методы биомедицинской визуализации как УЗИ и МРТ. Сами ОКТ сканы во многом напоминают УЗИ сканы, но имеют существенно более высокое разрешение (до единиц микрон). Соответственно, размеры области ОКТ визуализации существенно меньше, чем в УЗИ, — примерно 1–2 мм в глубину биоткани и 4–8 мм в латеральном направлении. Тем не менее визуализация на таких масштабах весьма востребована и хорошо соотносится с размерами гистологических изображений. При этом во многом первоначальной идеей создания ОКТ как раз было ожидание, что такой высокоразрешающий метод визуализации позволит выполнять оптическую биопсию, не требуя специальной времени трудозатратной подготовки биотканей. ОКТ уже нашла широкое применение в офтальмологической диагностике, где она фактически стала «золотым стандартом», особенно для визуализации глазного дна, откуда брать биопсийные образцы в принципе невозможно. Другие области применения ОКТ остаются достаточно ограниченными, хотя в последние годы здесь происходят значительные сдвиги, особенно связанные с рядом функциональных расширений ОКТ, развитие которых было во многом стимулировано аналогиями с УЗИ, в котором, наряду с обычными структурными изображениями, важную роль стали играть УЗИ-ангиография, а также УЗИ-эластография, обеспечившая на эластографических сканах значительное повышение контраста между злокачественными и нормальными тканями за счет различия их упругих (жесткостных) свойств. Идея переноса эластографических принципов из УЗИ в ОКТ была высказана еще в конце 1990-х гг., однако практические работоспособные реализации ОКТ-эластографии были продемонстрированы лишь в последние 5–7 лет. Подобно УЗИ, в ОКТ-эластографии сформировались два основных направления, отличающиеся типом вспомогательного стимула, прикладываемого к тканям для визуализации их упругих свойств, — волновой и квазистатистический компрессионный подходы. В данном докладе основное внимание уделено компрессионной ОКТ-эластографии (К-ОКЭ) развитой в ИПФ РАН за последние годы. В частности, представлены принципы визуализации деформаций на основе фазовых сдвигов ОКТ сигналов без использования распространённого в УЗИ корреляционного трекинга смещений рассеивателей. Также рассмотрены вариант количественной К-ОКЭ для получения воспроизводимых оценок модуля Юнга биотканей, обычно демонстрирующих ярко выраженную нелинейность упругих свойств, и решение проблемы получения нелинейных кривых «напряжение-деформация» и их использование в задачах дифференциальной диагностики различных типов биотканей. Продемонстрировано, как с помощью К-ОКЭ удается выполнять сегментирование ОКТ-сканов, сравнимое с результатами сегментирования традиционных гистологических изображе-

ний. В заключение отмечены перспективы дальнейшего развития ОКТ-эластографии и родственных модальностей. Ключевые слова: оптическая когерентная томография, упругие свойства биоткани.

26.01-01.334 **Возможности и проблемы пассивного акустического мониторинга биоразнообразия.** *Дмитриев К.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 9-10. Рус.

Разнообразие видов птиц, обитающих в том или ином регионе, является важным показателем экологической обстановки. Быстрое его изменение может свидетельствовать о чрезмерном антропогенном влиянии, которое угрожает стабильности экосистемы и несет риск вымирания отдельных видов. Традиционно экологи осуществляют контроль за биоразнообразием, непосредственно наблюдая птиц в их среде обитания. Однако это требует существенных усилий, привлечения квалифицированных специалистов и зачастую решения ряда логистических проблем. Альтернативным подходом, получившим развитие в последнее время, является размещение в исследуемом регионе пассивных автономных регистраторов звука; анализ и распознавание сделанных ими записей. Несмотря на то, что применение нейросетей позволило продвигаться в решении этой задачи, оно сталкивается с рядом трудностей. С одной стороны, требуется учитывать большое количество видов птиц, разнообразие их песен и подражание друг другу. Шумы окружающей среды, включая звуки насекомых, погодные явления и антропогенные факторы, реверберация и неопределенное расстояние до источника усложняют условия наблюдения. Кроме того, зачастую несколько птиц присутствуют на записи одновременно. С другой стороны, записи из имеющихся в открытом доступе баз данных сильно отличаются от данных автономных наблюдений и превосходят их по качеству. Это связано с применением направленных микрофонов и удалением неудачных или неразборчивых сигналов. В настоящей работе рассматриваются методы преодоления описанных трудностей и приводятся результаты работы разработанных алгоритмов. Исследование поддержано грантом РФФ № 24-22-00192, <https://rscf.ru/project/24-22-00192/>. Ключевые слова: пассивный акустический мониторинг, нейронные сети, обработка сигналов.

Распространение акустических волн в тканях и органах

26.01-01.335 **Компенсация аберраций при использовании мощного фокусированного ультразвука для деактивации миомы матки.** *Чупова Д.Д., Росницкий П.Б., Синицын В.Е., Мершина Е.А., Сапожников О.А., Хохлова В.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5, с. 659-668. Рус.

В численном эксперименте проанализировано искажение ультразвукового пучка при фокусировке через брюшную стенку в область миомы матки и проведена оценка возможности компенсации аберраций, вносимых неоднородностями тканей тела человека. Трехмерная акустическая модель органов женского малого таза была построена на основе анонимизированных данных КТ. Расчет поля проводился путем комбинации аналитического метода расчета интеграла Рэлея и псевдоспектрального метода решения волнового уравнения в неоднородной среде (программный пакет *k-Wave*). Дифракционный алгоритм компенсации аберраций основан на моделировании распространения сферической волны из точки фокуса на поверхность ультразвуковой фазированной решетки и оптимизации подбора фаз на ее элементах методом наименьших квадратов. Использовалась модель 256-элементного излучателя компактной формы с рабочей частотой $f=1.2$ МГц и диафрагменным числом $F\#=0.75$. Продемонстрированы характерные искажения поля, такие как размытие фокальной области, снижение уровня давления в основном максимуме поля и возникновение побочных максимумов, сравнимых по амплитуде с основным, в отсутствие компенсации аберраций. Проведение компенсации аберраций позволило обеспечить точную фокусировку в целевую область и увеличить амплитуду давления в фокусе в 3.2 раза.

26.01-01.336 **Моделирование параметрических эффектов в фокусированных осесимметричных ультра-**

звуковых пучках при двухчастотном возбуждении излучателя. *Сергеева М.С., Квашенникова А.В., Юлдашев П.В., Есипов И.В., Хохлова В.А.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 66. Рус.

Эффект параметрической генерации волны разностной частоты в фокальной области мощного двухчастотного излучателя представляет интерес как перспективный инструмент контроля за тепловым воздействием ультразвука на биоткани для развивающегося метода неинвазивной HIFU-хирургии. В работе развит конечно-разностный численный алгоритм решения аксиально-симметричного уравнения Хохлова—Заболотской—Кузнецова в квазилинейном приближении для фокусирующего излучателя в виде сферического сегмента. В численном алгоритме использованы спектральное представление поля давления для описания нелинейных взаимодействий волн накачки и метод эквивалентного излучателя, позволяющий перенести граничное условие со сферы на плоскость, сохраняя при этом точность расчета поля в фокальной области излучателя даже при больших углах схождения ультразвукового пучка. Полученные результаты для волны разностной частоты в воде показывают хорошее соответствие с интегральным решением неоднородного волнового уравнения, полученным в рамках квазилинейной теории. Проведено численное моделирование для двух типов излучателей (плоского круглого и сферического фокусирующего) и проанализировано влияние параметров фокусировки на эффективность генерации волны разностной частоты и на ширину диаграммы направленности низкочастотного излучения. Определены наиболее выигрышные параметры биогармонической волны накачки, обеспечивающие эффективную генерацию излучения на разностной частоте в фокальной области параметрического излучателя. Ключевые слова: фокусирующие излучатели, ультразвук, биоткань, хирургия.

См. также **26.01-01.172**, **26.01-01.331**, **26.01-01.332**, **26.01-01.333**

Речеобразование и восприятие речи

26.01-01.337 **Цветовые ассоциации звучащих гласных русского языка: фоносемантический анализ с учетом гендерных различий.** *Потапова Р.К., Потапов В.В., Померанцев Н.Д.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 29. Рус.

Изучаются цветовые ассоциации звучащих гласных русского языка в контексте фоносемантики. Экспериментальная база включала 200 звуковых стимулов, представляющих 10 гласных фонем, произнесенных 10 мужчинами и 10 женщинами. Эксперимент завершили 92 испытуемых (58 женщин и 34 мужчины), которые посредством специально разработанного веб-приложения прослушивали гласные и выбирали ассоциируемые с ними цвет. Результаты показали наличие гендерных различий в цветовых ассоциациях гласных. Кроме того, поднимается вопрос о влиянии акустических характеристик, таких как частота основного тона, формантные частоты и длительность звука, на формирование цветовых ассоциаций. Данное исследование расширяет понимание фоносемантических связей и подчеркивает значимость акустических параметров в формировании сенсорных ассоциаций. Ключевые слова: фоносемантика, звуко-цветовые ассоциации, акустика речи, перцептивный эксперимент, веб-приложение.

26.01-01.338 **Работа голосовых складок при чтении слогов взрослыми: оценка методом электроглоттографии.** *Ильяс А.Б., Фролова О.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 29. Рус.

Электроглоттография — неинвазивный метод оценки работы голосовых складок во время фонации. Метод используется во многих работах, которые исследуют влияние различных факторов на голос испытуемых. Цель исследования — определить и сравнить параметры электроглоттограммы взрослых мужчин и женщин. В исследовании приняли участие 5 мужчин и 5 женщин в возрасте от 19 до 24 лет. Осуществлена регистрация электроглоттограммы при прочтении специального речевого материала, состоящего из слогов и гласных. Проведен анализ электроглоттограмм и описаны следующие параметры: коэффици-

ент CQ (the contact quotient — коэффициент, указывающий на долю времени смыкания голосовых складок в одном глоттальном цикле), форма глоттографической волны и значения частоты основного тона гласных. Получены данные о характеристиках работы голосового источника мужчин и женщин при прочтении изолированных гласных и слогов, осуществлено их сравнение. Результаты исследования могут быть использованы для сравнения с пациентами с нарушениями работы голосовых складок. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 22-45-02007). Ключевые слова: электроглоттограмма, голосовые складки, частота основного тона.

26.01-01.339 Фонетическая интерференция в русской речи китайцев: автоматизация диагностики и анализ типичного устойчивого акцента. *Кедрова Г.Е., Прохичева А.Ю., Чучупал В.Я.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 30. Рус.

Цель данного исследования — разработка механизмов автоматической идентификации произносительных трудностей китайских студентов, обучающихся русскому языку, и выявление устойчивых проявлений иноязычного акцента, сохраняющихся на продвинутом уровне владения русским языком. Объектом анализа стали аудиозаписи чтения 1428 слов из сбалансированного фонетического словаря русских ритмических структур, прочитанные китайскими и русскими студентами и аспирантами. Аудиоматериал включал запись 15 китайских дикторов разного уровня владения русским языком (от ТРКИ В1-В2 до С1-С2). Акустическому анализу подверглись аудиозаписи китайских дикторов с низким уровнем владения языком и дикторов-китайцев с максимально высоким уровнем общей длительностью 10 часов.

26.01-01.340 Фоносемантический подход к изучению перцепции и акустики монгольских гласных. *Ганбаатар Цэнд-Аюуш.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 30. Рус.

Настоящее исследование посвящено слуховому и зрительно-му восприятию гласных современного монгольского языка. В работе рассматривается вопрос о звуко-цветовых ассоциациях и их связи с акустическими характеристиками гласных. Экспериментальное исследование включало участие 700 носителей литературного монгольского языка, распределенных по признаку «пол» и «возраст» с применением перцептивно-слуховых и перцептивно-зрительных тестов. Анализ полученных данных позволил выявить закономерности восприятия монгольских гласных, а также определить влияние акустических параметров на их цветовые корреляции.

26.01-01.341 Распознавание эмоциональных состояний по мимической экспрессии, голосу и речи детьми, взрослыми и автоматически. *Ляко Е.Е., Фролова О.В., Матвеев А.Ю., Николаев А.С., Клешиев Е.А., Граве П.И., Ильяс А.Б.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 31. Рус.

Представлены результаты трех экспериментальных исследований по распознаванию детьми (исследование 1), взрослыми (исследование 2) и автоматически (исследование 3) эмоциональных состояний «радость—нейтральное (спокойное)—печаль—гнев» по мимической экспрессии, голосу и речи. В исследовании приняли участие 260 детей с типичным развитием (ТР), расстройствами аутистического спектра (РАС), синдромом Дауна (СД), интеллектуальными нарушениями (ИН) и 40 взрослых. Материалом послужили аудио и видеозаписи выполнения детьми тестовых заданий по методике оценки сформированности эмоциональной сферы — CEDM. Результаты показали большую точность распознавания эмоциональных состояний ТР детьми по сравнению с детьми с РАС и ИН и особенностями распознавания эмоциональных состояний детьми с РАС и ИН. Эксперты распознавали эмоции детей всех групп по мимической экспрессии и речи точнее, чем автоматически, с более высокими значениями UAR (полнота распознавания) для ТР детей по аудио и видео в перцептивном эксперименте и по аудио при автоматической классификации эмоций. Выявлены различия по точности классификации эмоций детей с РАС, ИН и СД. Серия экспериментов с использованием методов искус-

ственного интеллекта проведена для возможности создания автоматической системы экспресс-диагностики сформированности или нарушений эмоциональной сферы детей. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 22-45-02007). Ключевые слова: эмоциональное состояние, перцептивный эксперимент, автоматическое распознавание, мимическая экспрессия, речь.

26.01-01.342 Распознавание эмоционального состояния близнецов по характеристикам речи. *Куражова А.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 31. Рус.

Цель работы — сравнить акустические характеристики эмоциональной речи близнецов в парах, оценить возможность идентификации близнецов по голосу и речи. В исследовании принимали участие 10 близнецов — носителей русского языка в возрасте 20 ± 2 лет соответственно). Проводили аудиозапись речи информантов в диалоге с экспериментатором и в паре друг с другом. Осуществляли анализ временных и спектральных характеристик речи в звуковом редакторе Cool Edit Pro. Для анализа отбирали эмоциональные высказывания участников. Составлены аудиотесты, включающие высказывания каждого из информантов. Аудиотесты предъявляли двум группам аудиторов — экспертам с опытом работы в области речевых исследований, аудиторам без опыта. Аудиторам давали задание определить эмоциональное состояние информанта. Для каждого высказывания определяли среднее значение частоты основного тона ($F0_{\text{ср}}$, ЧОТ), диапазон частоты основного тона ($F0_{\text{max}}$ – $F0_{\text{min}}$), длительность всего высказывания, длительность пауз между словами, считали $F0_{\text{ср}}$ и длительность ударных и безударных гласных из слов. Выявлены различия по вероятности распознавания эмоциональных высказываний, произнесенных мужчинами и женщинами. Выявлены индивидуальные особенности проявления эмоционального состояния близнецов в парах. Установлены различия по временным и спектральным характеристикам речи между близнецами в пределах пары. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 22-45-02007). Ключевые слова: близнецы, акустика речи, эмоциональное состояние, частота основного тона.

26.01-01.343 Проявление эмоциональных состояний в мимике и речи детей, воспитывающихся в детском доме. *Фролова О.В., Ляко Е.Е.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 32. Рус.

Цель исследования — изучение особенностей эмоциональной сферы детей 5–16 лет с интеллектуальными нарушениями (ИН), воспитывающихся в детском доме. В работе приняли участие 28 детей из детского дома с легкими ИН (18 детей с задержкой психического развития, 10 — с умственной отсталостью легкой степени тяжести) и синдромом Дауна (СД). Все дети протестированы по методике CEDM (для детей с СД использована краткая версия методики CEDM-sh). Осуществляли аудиозапись речи, видеозапись поведения и мимики детей при выполнении тестовых заданий CEDM. Получены балльные оценки за выполнение детьми тестовых заданий на распознавание эмоций и отражение эмоциональных состояний в голосе, речи и мимической экспрессии. Проведен перцептивный и акустический анализ речи детей в разных эмоциональных состояниях. Мимическую экспрессию детей оценивали перцептивно и автоматически с использованием программы «FaceReader». Результаты исследования показали, что дети с СД значительно хуже выполняют тестовые задания, чем дети с ИН. Для детей с ИН выявлена возрастная динамика при выполнении тестовых заданий на отражение эмоций («беседа с экспериментатором» и «интервью») и распознавание эмоций. Данные по оценке эмоциональной сферы детей, воспитывающихся в детском доме, сопоставляются с данными по детям, растущим в условиях семьи. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 22-45-02007). Ключевые слова: эмоциональное состояние, речь, дети из детского дома, интеллектуальные нарушения, синдром Дауна.

26.01-01.344 Параметры интонации у детей с типичным развитием и интеллектуальными нарушениями. *Павликова М.И.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 32. Рус.

Целью работы было сравнить интонационные характеристики

речи типично развивающихся (ТР) детей и детей с легкой формой умственной отсталости (УО) в разные возрастные периоды, начиная с 5 и до 14-ти лет. В работе применяли перцептивный, аудиторский и инструментальный анализ реплик детей, записанных в ходе диалога с экспериментатором. Определяли словесное ударение, фразовое ударение и интонационные параметры речи. Обнаружены различия между группами детей с ТР и УО по длительности реплик, количеству слов в репликах, темпу речи и длительности гласных в словах. Во всех группах детей выявлены различия в длительности ударных гласных в интонационно выделенных словах и обычных словах, а также в длительности ударных и безударных гласных. В группах детей показана возрастная динамика формирования словесного ударения за счет повышенной длительности ударных гласных. Прослежены возрастные изменения в частоте основного тона (ЧОТ) во фразах. Обсуждается возможная связь изменения ЧОТ на ударных гласных с фразовым ударением. Полученные результаты позволяют оценить динамику речевого развития у детей с умственной отсталостью. Ключевые слова: детская речь, умственная отсталость, интонация, акустические параметры речи.

26.01-01.345 Акустические характеристики эмоциональной речи детей с расстройствами аутистического спектра. *Николаев А.С.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 32-33. Рус.

Исследование направлено на изучение акустических характеристик эмоциональной речи детей в возрасте 5–14 лет с расстройствами аутистического спектра (РАС), $n=35$, и типично развивающихся (ТР) детей, $n=47$. Проведен слуховой перцептивный эксперимент, в ходе которого взрослые носители русского языка (аудиторы), $n=206$, прослушивали тестовые последовательности (аудиогесты), содержащие фразы детей с РАС и ТР, отобранные из записей спонтанной речи. Проведен спектрографический анализ речевых сигналов фраз, классифицированных аудитором по трем состояниям: комфорт—нейтральное состояние—дискомфорт. Показано, что состояние дискомфорта у детей с РАС характеризуется максимальными значениями длительности, частоты основного тона (ЧОТ) и ее вариативности по фразам, словам и гласным по сравнению с нейтральным состоянием и комфортом, минимальные значения — у нейтрального состояния. Во всех трех состояниях выявлены различия в значениях ЧОТ по фразам, словам и гласным, интенсивности ударного гласного между сигналами, распознанные аудитором с высокой (0.75–1.0) и низкой (0–0.25) вероятностью. Показана связь между акустическими характеристиками речевых сигналов и вероятностью распознавания аудитором. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (№ 22-45-02007). Ключевые слова: расстройства аутистического спектра, детская речь, эмоциональная речь, акустический анализ, перцептивный анализ.

26.01-01.346 Перцептивные и акустические характеристики речи детей 5–7 лет с расстройствами аутистического спектра. *Граев П.И., Николаев А.С.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 33. Рус.

Цель исследования — определение перцептивных и акустических характеристик эмоциональной речи детей 5–7 лет с расстройствами аутистического спектра (РАС). В исследовании приняли участие 16 типично развивающихся (ТР) детей и 5 детей с РАС. В работе использован методический подход для оценки эмоциональной сферы детей CEDM, разработанный в Группе по изучению детской речи СПбГУ. Запись речи детей проводили в модельных ситуациях: диалог с экспериментатором — спонтанная речь, и «актерская» речь — произнесение ребенком слов и фраз в 4 эмоциональных состояниях: радость—нейтральное (спокойное) состояние—печаль—гнев. Для определения возможности распознавания взрослыми эмоционального состояния детей по их речи проведен перцептивный эксперимент, в котором приняло участие 10 взрослых аудиторов. Создано 4 тестовых последовательности, включающих речевой материал «актерской» и спонтанной речи ТР детей и детей с атипичным развитием. Показаны различия в распознавании аудиторами эмоционального состояния ТР детей и детей с РАС. Осуществлен инструментальный спектрографический анализ речевого материала, включенного в тестовую последо-

вательность перцептивного эксперимента. Показаны различия в акустических характеристиках слов типично развивающихся детей и детей с РАС. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (№ 22-45-02007). Ключевые слова: расстройства аутистического спектра, эмоциональная речь, перцептивный анализ, акустический анализ.

26.01-01.347 Эмоциональная речь мальчиков 12–16 лет с расстройствами аутистического спектра и типичным развитием: акустические и перцептивные характеристики. *Клешиев Е.А., Ляко Е.Е.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 33-34. Рус.

Цель исследования — определить акустические и перцептивные характеристики эмоциональной речи мальчиков 12–16 лет с расстройствами аутистического спектра (РАС) и типичным развитием (ТР), провести сравнительный анализ. В исследовании приняли участие 15 мальчиков 12–16 лет: 10 ТР мальчиков, 5 мальчиков с РАС. Запись эмоциональной речи проводили при выполнении подростками тестовых заданий методики оценки сформированности эмоциональной сферы детей «Child Emotion Development Method» (CEDM). Использовали два метода анализа речи — перцептивный эксперимент, проводимый с целью распознавания аудитором ($n=10$) эмоциональных состояний подростков по их речи и инструментальный спектрографический анализ. Результаты перцептивного эксперимента представляли в виде матриц спутывания. Спектрографический анализ речи детей проводили в программе «Cool Edit Pro 2.0». Считали: длительность; значения частоты основного тона (ЧОТ); минимальные и максимальные значения ЧОТ; вариативность ЧОТ; значения интенсивности по фразе, ударному слову и ударному гласному. Выявлены различия в акустических характеристиках эмоциональной речи мальчиков 12–16 лет: значения ЧОТ ударного слова, ударного гласного; значения вариативности ЧОТ. Аудиторы лучше определяли эмоциональные состояния по речи мальчиков с ТР, чем по речи мальчиков с РАС. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект 22-45-02007). Ключевые слова: подростки, эмоциональная речь, расстройства аутистического спектра, акустические характеристики.

26.01-01.348 Использование инструментальных методов при обучении школьников с слухоречевыми нарушениями. *Столярова Э.И., Белова Н.Ю., Солнушкин С.Д., Чижман В.Н.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 34. Рус.

Представляемая работа осуществляется в рамках договора о научно-практическом сотрудничестве между ИФ РАН и ГБОУ Школа № 10 «Изучение специфики проблем письма и чтения у школьников с речевыми нарушениями и развитие подходов к их коррекции». В 2024–2025 учебном году для занятий с педагогом-дефектологом были сформированы группы: 5 школьников из 5 класса, 14 — из 7 класса, 5 — из 8 класса. Из педагогических характеристик школьников следовало, что у них в той или иной степени наблюдается несформированность фонематического восприятия и слуха, лексико-грамматическое недоразвитие речи, дисграфия, дизорфография, ограниченность словарного запаса, недостаточная сформированность навыков языкового анализа, они испытывают трудности при составлении устного рассказа. Для проведения коррекционных занятий использовались программные комплексы «Учись слушать» (совместная разработка ИФ РАН и НИИ уха, горла, носа), в составе которого тесты и упражнения для развития слухового восприятия различной звуковой информации, и «ПДД» (разработка лабораторий информационных технологий и психофизиологии речи ИФ РАН), который содержит наборы заданий с дидактическим материалом по развитию фонематического слуха, освоению навыков чтения, орфографической зоркости и грамотности. Результаты выполнения заданий автоматически сохранялись. Их анализ обеспечивал объективную оценку динамики и индивидуальных особенностей освоения учебного материала, с учетом которой могли планироваться последующие коррекционные занятия. Оба комплекса хорошо зарекомендовали себя в учебной практике и способствовали улучшению оцениваемых характеристик во всех группах учащихся. Ключевые слова: слух, речь, коррекция слухоречевых нарушений, информационные технологии.

26.01-01.349 Элизия в русском и английском академическом дискурсе: корпусное моделирование частотности. *Караева В.Г., Андросова С.В. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 35. Рус.

Целью настоящего исследования является моделирование частотности элизии в русском и английском академическом дискурсе на основе мультязычного речевого корпуса. Элизия как фонетический процесс, связанный с полной редукцией или выпадением звуков, играет важную роль в спонтанной и подготовленной речи, однако ее особенности в академическом дискурсе изучены недостаточно. В работе ставятся следующие задачи: (1) выявить закономерности проявления элизии в русском и английском академическом дискурсе (на материалах лекции и дискуссии), (2) сопоставить частотность элизии в двух языках, (3) определить влияние темпа речи и позиции звука на реализацию элизии. Материалом для исследования послужили лекции на английском и учебные дискуссии на русском языках, размеченные в формате TextGrid. Для анализа использовались инструменты автоматической обработки речи: Prt (акустический анализ), Montrel Forced Aligner (выравнивание текста и звука), EXMARLDA (корпусная аннотация), Python библиотеки для анализа и визуализации данных. В результате исследования были (1) разработаны шаблоны запросов в корпусном менеджере для моделирования частотности и контекстов модификаций; (2) для русского и английского языков описаны реализации словоформ с альтернативным фонемным и слоговым составом. Полученные данные могут быть использованы в фонетических исследованиях, преподавании фоностилистики и дообучении систем автоматической обработки речи. Ключевые слова: элизия, академический дискурс, корпусная фонетика, моделирование частотности, сопоставительный анализ.

См. также **26.01-01.322**, **26.01-01.330**

Физиологическая и психологическая акустика

26.01-01.350 Влияние изменения дофаминергической нейротрансмиссии на коротколатентные стволовые слуховые вызванные потенциалы у крыс гетерозиготной линии DAT-НЕТ. *Хорунжий Г.Д., Егорова М.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 74. Рус.

Хорошо известно, что развитие синдрома дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ) у детей обусловлено системным нарушением функционирования дофаминергических нейронов (Viggiano et al., 2003). Сведения о повышенном риске развития тяжелых форм СДВГ у пациентов, страдающих нарушениями слуха (Soleimani et al., 2020; Tsur et al., 2024), дают основания полагать, что результаты оценки слуховой чувствительности могут выступать в качестве дополнительного критерия при диагностике СДВГ, и создают предпосылки для изучения слуховой функции у животных — экспериментальных моделей данной патологии. В этой связи нами было предпринято сравнительное исследование характеристик слуха у нормальных крыс линии Wistar и крыс трансгенной гетерозиготной линии DAT-НЕТ со сниженным уровнем экспрессии гена Slc6a3, кодирующего транспортер обратного захвата дофамина DAT-1. Для их оценки анализировали амплитудные и временные параметры коротколатентных стволовых слуховых вызванных потенциалов (КСВП), зарегистрированных у крыс обеих линий при действии парных щелчков и одиночных тональных сигналов. Полученные результаты показали, что в целом сходных амплитудных и временных параметрах КСВП у крыс обеих линий, у гетерозигот DAT-НЕТ амплитуда 1 волны КСВП была достоверно больше, чем у животных с нормально функционирующим транспортером обратного захвата дофамина DAT1. Повышение амплитуды 1 волны КСВП у крыс линии DAT-НЕТ, видимо, связано с изменением уровня дофаминергической нейротрансмиссии, сопряженной с активацией D1 рецепторов, присутствующих в мембранах нейронов спирального ганглия улитки. Работа поддержана федеральным бюджетом по госзаданию № 075-00263-25-00. Ключевые слова: дофаминергическая система, СДВГ, трансгенные животные, крыса, слух, КСВП.

26.01-01.351 Неинвазивная диагностика легочной

гипертензии с помощью анализа сердечных тонов. *Рябков М.В., Грамович В.В., Дмитриев К.В. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 75. Рус.

Легочная гипертензия (ЛГ) — синдром, характеризующийся повышенным давлением в легочной артерии (ЛА) и ведущий к летальному исходу без лечения. Ранняя диагностика критически важна для улучшения прогноза, однако традиционные методы (эхокардиография, катетеризация легочной артерии) малодоступны в первичном звене здравоохранения. Сложность диагностики этого патофизиологического состояния обусловлена неспецифичностью его клинических проявлений. Исторически выслушивание тонов сердца было ключом к диагнозу ЛГ. Однако у современных врачей навыки аускультации сердца утрачиваются из-за использования инструментальной диагностики. Решением может стать фонокардиография (ФКГ) — запись звуков сердца. Аналоговая ФКГ широко применялась в диагностике болезней сердца в 20 веке, однако, как и аускультация, требовала большого опыта для интерпретации. Современная цифровая ФКГ с машинным автоматическим анализом может упростить процесс и объективизировать анализ звуков сердца. Метод неинвазивен, безопасен и применим у постели больного, что в совокупности с современными вычислительными технологиями делает метод перспективным. В настоящем исследовании методика диагностики опиралась на анализ звуков, возникающих при работе клапанов сердца. Анализ производился на уникальной базе данных, содержащей записи ФКГ и ЭКГ 140 пациентов, у которых уровень давления в ЛА был определен при катетеризации сердца и/или проведении эхокардиографии в ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. ак. Е.И. Чазова». Данные обрабатывались алгоритмом на основе сверточной нейросети. На текущий момент удалось достичь диагностической точности 91%, что подтверждает перспективность использования разработанного алгоритма для выявления ЛГ. Исследование поддержано грантом РНФ № 24-22-00192, <https://rscf.ru/project/24-22-00192/>. Ключевые слова: анализ сигналов, нейронные сети, фонокардиография, легочная гипертензия.

26.01-01.352 К вопросу об акустических аналогах спирометрических характеристик форсированного выдоха человека. *Костин А.Е., Малаева В.В. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 76. Рус.

При современном развитии науки и техники в широкой клинической практике пассивные акустические методы диагностики по-прежнему имеют экспертный характер. Спирометрия — метод исследования внешнего дыхания человека по потоковым параметрам, который используется в доказательной медицине. В работе подтверждается гипотеза о существовании акустических аналогов спирометрических параметров форсированного выдоха. Исследование выполнено с помощью статистического анализа (критерий Спирмена) по группе из 43 добровольцев, оценивалось 248 дыхательных маневра. Получены значимые ($p < 0.05$) корреляции акустических и спирометрических параметров: продолжительность шумов и спирометрическая продолжительность выдоха, 0.22; время достижения максимального значения амплитуды шумов и время достижения пиковой объемной скорости выдоха, 0.18; звуковая энергия форсированного выдоха и форсированная жизненная емкость легких выдоха, 0.29; звуковая энергия форсированного выдоха за первую секунду и объем форсированного выдоха за первую секунду, 0.24; звуковая энергия форсированного выдоха за первые 0.75 секунды и объем форсированного выдоха за первые 0.75 секунды, 0.34. Выявлено увеличение силы корреляции для отношений параметров: звуковая энергия форсированного выдоха за первую секунду к звуковой энергии форсированного выдоха и объем форсированного выдоха за первую секунду к форсированной жизненной емкости легких, 0.61; звуковая энергия форсированного выдоха за первые 0.75 секунды к звуковой энергии форсированного выдоха и объем форсированного выдоха за первые 0.75 секунды к форсированной жизненной емкости легких, 0.46. Полученный в работе результат должен способствовать продвижению акустических методов в медицинскую клиническую практику. Ключевые слова: шум дыхания, аускультация, респираторная акустика, спирография, индекс Генслера.

26.01-01.353 Влияние физиологических параметров на полосовые акустические характеристики шумов форсированного выдоха. *Почекутова И.А., Сафронова М.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 76. Рус.

Анализ трахеальных шумов форсированного выдоха (ФВ) является полезным инструментом для выявления бронхиальной обструкции. Однако недостаточно изучено влияние физиологических показателей (пол, возраст, антропометрические параметры) на акустические характеристики дыхательных шумов человека. Вместе с тем их учет при разработке референсных значений акустических параметров, разграничивающих норму и патологию, чрезвычайно важен. Характеристиками дыхательных шумов ФВ, перспективными для оценки вентиляционной функции легких, представляются разработанные нами продолжительность, энергии и их нормированные на общую продолжительность и суммарную энергию шумов производные в средне(200—800 Гц) и высокочастотных (800—2000 Гц) полосах в диапазоне 200—2000 Гц.

26.01-01.354 Измерение акустических параметров фантомов биологических тканей. *Сорожин С.Д., Цысарь С.А., Сапожников О.А., Кадрев А.В., Хошлова В.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 83. Рус.

Создание фантомов с акустическими свойствами, близкими к биологическим тканям, является важной задачей для обеспечения повторяемости условий экспериментов по разработке новых методов ультразвуковой диагностики и терапии, калибровке и регулярном тестировании работы излучателей лабораторных и клинических установок. Характеристика акустических параметров создаваемых фантомов представляет собой отдельную метрологическую задачу. В работе были проведены измерения плотности, скорости звука, частотно-зависимого коэффициента поглощения, сдвигового модуля и параметра нелинейности образцов прозрачных гелевых фантомов на основе силикона, полиакриламида, агарозы и ПВХ пластизола с различной жесткостью и примесями. Измерения плотности проводились с помощью весов и метода Архимеда. Скорость звука и коэффициент поглощения измерялись с использованием метода замещения, сдвиговый модуль был измерен в фантомах с рассеивателями при помощи ультразвукового сканера в режиме эластографии сдвиговой волной. Была проведена оценка точности полученных экспериментальных данных, произведено сравнение параметров различных типов мягких тканей человека и параметров фантомов, имитирующих ее свойства. Ключевые слова: ультразвук, фантомы, скорость звука, коэффициент поглощения, коэффициент нелинейности.

26.01-01.355 Разработка стимул-чувствительных методов доставки лекарств для сенсibilизации глиом. *Абакумова Т.О., Травникова Д.Ю., Шашковская В.С., Белоусов В.В. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 86. Рус.

Поиск новых терапевтических мишеней и разработка методов для сенсibilизации опухолевых клеток является перспективным направлением в терапии глиобластом — одной из наиболее агрессивных и трудноизлечимых опухолей. Ингибирование онкогенного белка PSMD10 позволяет снизить пролиферацию опухолевых клеток, стимулирует апоптоз и инициирует гибель клеток. Использование частиц для доставки лекарств, а также открытие гемато-энцефалического барьера при помощи сфокусированного ультразвука позволяет увеличить концентрацию препарата в опухолевом очаге, снижая побочное действие на организм. Целью работы является разработка полимерных и липидных систем доставки препаратов для сенсibilизации глиобластом и улучшение их накопления с помощью сфокусированного ультразвука. На первом этапе было показано, что уровень экспрессии онкогенного белка PSMD10 коррелирует с развитием опухолевого процесса, а его подавление позволяет повысить чувствительность клеток глиомы к препарату выбора — темозоломиду на культуре клеток глиомы. Далее нами были синтезированы полимерные и липидные частицы субмикронного диапазона (от 100 до 800 нм) для доставки малых интерферирующих РНК и темозоломида мышам с моделью глиобластомы. Было оценено влияние параметров сфокусированного ультразвука на стимул-чувствительное высвобождение препаратов, а также оценена безопасность воздействия на здоровую ткань.

При помощи флуоресцентной томографии было показано, что использование сфокусированного ультразвука позволило значительно увеличить накопление частиц в очаге глиомы, а также уменьшить размер опухоли при систематическом введении. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 22-75-10151. Ключевые слова: миРНК, темозоломид, глиома, сфокусированный ультразвук.

26.01-01.356 Моделирование взаимодействия микропузырьков с делящимися раковыми клетками в ультразвуковом поле. *Зинин П.В., Есина Д.А., Левин В.М. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 87. Рус.

Ранние работы по воздействию непрерывного ультразвука на развитие клеток яйца морского ежа показали, что ультразвуковая обработка приводит к появлению чудовищных эмбрионов, которые погибают на последних стадиях своего развития. Эти результаты объясняются действием стабильной кавитации. В этой работе мы исследуем реакцию клеток и деформацию, вызванные соседним колеблющимся пузырьком, используя оболочечную модель клетки. В модели оболочки движение клетки состоит из движения трех компонентов: внутренней вязкой жидкости, тонкой эластичной оболочки и окружающей вязкой жидкости. Толщина оболочки мала по сравнению с радиусом клетки, так что оболочку можно рассматривать как упругую поверхность, разделяющую две вязкие жидкости. Показано, что даже при дипольных колебаниях оболочка ячейки деформируется из-за изменения площади оболочки. Для колебаний квадрупольной моды и мод более высокого порядка движение ячейки определяется модулем сдвига оболочки μ . Также обсуждаются потенциальные приложения, связанные с разрушением бактерий и раковых клеток. Ключевые слова: ультразвук, раковые клетки.

26.01-01.357 Комбинационный метод нагрева биологических тканей с использованием цилиндрических стоячих волн. *Швецова Н.А., Швецов И.А., Петрова Е.И., Луговая М.А., Колпачева Н.А., Рыбьянец А.Н. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 88. Рус.

Ультразвуковые методы широко используются для хирургического и терапевтического лечения мягких тканей, заживления ран, опухолей простаты и печени, а также окклюзии сосудов. Разработка новых методов и устройств для терапевтического воздействия на большие объемы поверхностных тканей с использованием ультразвуковой энергии более эффективными и безопасными способами является одним из приоритетных направлений современной эстетической и восстановительной медицины. Одной из таких возможностей является использование кольцевых или цилиндрических ультразвуковых преобразователей в сочетании с вакуумной фиксацией обрабатываемой ткани внутри преобразователя. В работе проведено математическое и компьютерное моделирование, а также экспериментальная валидация процесса ультразвукового нагрева биологической ткани, помещенной внутрь полого цилиндрического пьезоэлемента. В численных расчетах использован метод конечных элементов, реализованный в пакетах ACELAN и COMSOL. Нестационарная задача о нагреве акустической среды решалась в конечно-элементном пакете FlexPDE. В натурном эксперименте биологическая ткань (говяжья печень) помещалась внутрь полого цилиндрического пьезоэлемента, поляризованного по радиусу. В цилиндрическом пьезоэлементе возбуждались высокочастотные колебания по толщине стенки цилиндра. Внутри пьезоэлемента формировалась цилиндрическая стоячая волна, волновая картина которой характеризовалась функцией Бесселя первого рода. Максимум акустического давления находился на оси цилиндра, за счет чего эта область биологической ткани постепенно нагревалась. Осевой разрез ткани позволял определить картину температурного поля и сравнить ее с результатами численного эксперимента. Результаты численного моделирования хорошо согласуются с данными натурального эксперимента. Ключевые слова: цилиндрический пьезоэлемент, акустическая среда, стоячая волна, ультразвуковой нагрев.

26.01-01.358 Тепловая абляция биоткани плоским ультразвуковым излучателем в сочетании с поверхностным охлаждением. *Пестова П.А., Рыбьянец А.Н., Сапожников О.А., Карзова М.М., Цысарь С.А., Хошлова В.А. Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 88-89.

Рус.

Представлены результаты экспериментов, реализующих тепловое ультразвуковое воздействие на поверхностные слои биологической ткани путем сочетания объемного ультразвукового нагрева с охлаждением поверхности. Эксперименты по получению объемной тепловой абляции говяжьей печени.

26.01-01.359 Реакция клеток височной коры ненаркотизированной кошки на звуки человеческого храпа. Бибиков Н.Г., Пигарев И.Н. *Сенсорные системы*. 2025. 38, № 1, с. 38-52. Рус.

На электрофизиологической установке, созданной Иваном Николаевичем Пигаревым, нам удалось исследовать нейронную активность слуховой коры кошки (локальный потенциал коры, электроэнцефалограмма, импульсация одиночных клеток) в естественном состоянии, регистрируя параллельно важнейшие параметры общего состояния организма (сердцебиение, дыхание, двигательная активность глаз). Рассмотрена импульсная активность одиночных клеток или малых ансамблей нейронов, локализованных в слуховых зонах коры, при воздействии одного сигнала — звука человеческого храпа довольно высокой интенсивности. Значительное число клеток, расположенных в той области слуховой коры, где располагаются клетки с характеристическими частотами в диапазоне 10–14 кГц, отвечали на этот сигнал модуляцией текущей частоты импульсации, хорошо синхронизированной с частотно-временными особенностями храпа. Полученные данные позволяют пересмотреть ряд установившихся постулатов о роли слуховой коры, которые были сформированы на основе экспериментов, проводимых главным образом на наркотизированных объектах.

26.01-01.360 Особенности влияния шумовой нагрузки на выбор зрительных стимулов у детей раннего дошкольного возраста с разным уровнем тревожности. Стружескин М.Л., Кузнецова Т.Г., Огородникова Е.А. *Сенсорные системы*. 2025. 38, № 1, с. 53-63. Рус.

Работа продолжает серию психофизических экспериментов по изучению особенностей зрительного опознавания целевых стимулов разного цвета и разного размера у детей раннего дошкольного возраста. Для измерений применяли разработанную ранее игровую методику с использованием сенсорного монитора для представления изображений геометрических фигур в условиях тишины и при шумовой нагрузке (акустический фон, соответствующий “детскому многоголосию”). Шум подавали через наушники с интенсивностью 45 дБ (уровень громкости разговорной речи). В экспериментах участвовали дети с нормой зрения и слуха в возрасте 3–4 лет ($n=60$), посещающие городской детский сад. Полученные на расширенной выборке данные подтвердили выявленные ранее закономерности: дети этого возраста значимо хуже осуществляли выбор по признаку “цвет”, чем по признаку “размера” ($p<0.01$); введение фонового шума “детского многоголосия” увеличивает время поиска зрительной цели, особенно в задачах выбора целевого “цвета”. Сравнительный анализ результатов в подгруппах детей, демонстрирующих разную степень активности и состояния тревожности, показал проявление достоверных различий, что хорошо согласуется с предварительными данными предыдущего исследования. Результаты работы имеют практическое значение для организации дошкольного обучения с учетом особенностей психофизиологического профиля детей и уровня их тревожности, а также специального образования в отношении детей с задержками развития.

См. также 26.01-01.174, 26.01-01.341, 26.01-01.342, 26.01-01.343, 26.01-01.344, 26.01-01.345, 26.01-01.346, 26.01-01.347, 26.01-01.348

Акустика эхолоцирующих животных

26.01-01.361 Щелчки новорожденной афалины (*Tursiops truncatus*). Рябов В.А. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 6, с. 881-891. Рус.

Зубатые киты и дельфины продуцируют сложные акустические сигналы. Однако, не ясно как они развиваются и функционируют. В настоящей работе звуки новорожденной афалины

(*Tursiops truncatus*) записаны двухканальной системой записи в полосе частот 0.4–220 кГц с динамическим диапазоном 81 дБ и частотой дискретизации 1 МГц, одновременно с видеозаписью ее положения относительно гидрофонов, через 22, 46, 46.5 и 47 с после рождения. Результаты анализа записей свидетельствуют, что новорожденная продуцировала 20 серий, содержащих 1640 эхолокационных щелчков. При этом она изменяла длительность серий в диапазоне 0.8–7 с, число щелчков в серии от 20 до 280 и межимпульсные интервалы от 6 до 220 мс. При движении вдоль бассейна она смещала положение максимума направленности излучения щелчков в пространстве, и каждый следующий щелчок продуцировала после получения эхо от предыдущего и временной задержки (десятки мс) на обработку эхо. Спектральные и временные характеристики ее щелчков незначительно отличаются от взрослых дельфинов. Видимый уровень источника щелчков (ASL) на расстоянии 1 м от новорожденной составлял 188–164 дБ отн. 1 мкПа. Следовательно, способности новорожденной афалины (*Tursiops truncatus*) эхолоцировать, впервые для зубатых китов рассмотренные в настоящей работе, — врожденные, в то время как физиологические, социальные и когнитивные аспекты эхолокации, по видимому, ей еще предстоит развить.

26.01-01.362 Информационные возможности анализа эхолокационных сигналов беломорских белух. Галутин В.З., Волж Г.М., Великов Р.А. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 73. Рус.

Анализ полевых записей эхолокационных сигналов беломорских белух, выполненных с использованием двухканального приемника градиента давления и высокочастотного гидрофона, показал возможности использования приемных систем на их базе для оценки количества млекопитающих в шельфовой зоне. Проведено сравнение использования для оценки количества импульсных источников алгоритмов взвешивания интегральных сигналов в ортогональных каналах векторного приемника и вычисления задержки между принятыми высокочастотным гидрофоном прямым импульсным сигналом и его отражениями. Показано, что в условиях волновода использование приемной системы на базе одиночного высокочастотного гидрофона и предложенного алгоритма вычисления задержек достаточно для разделения принятой смеси прямых и отраженных импульсных сигналов на локационные серии, излученные разными животными. Ключевые слова: приемник градиента давления, гидрофон, локационные сигналы белух.

26.01-01.363 Возможности дифференцировки дельфинами *Tursiops truncatus* классов полигармонических шумоподобных сигналов при комплексном разрушении их спектральной структуры. Ази А.В. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 74. Рус.

Исследовалась возможность пассивного слуха дельфинов осуществлять классификацию шумоподобных сигналов при разрушении их спектра, как по макро-, так и по микроструктуре. Деформация спектра проводилась сначала по отдельности, а затем комплексно, совмещая искажение спектральных информационных признаков, таких как форма огибающей и набор тональных дискретных составляющих. Значимость информационных признаков, содержащихся в макро и микроструктуре спектра, оценивалась с точки зрения необходимости и количественной достаточности для возможности проведения слуховой системой дифференциации одного класса сигналов от других. Ключевые слова: дельфин, шумоподобный сигнал, классификация, спектральная структура.

Звукообразование и восприятие акустических сигналов животными

26.01-01.364 Распознавание эмоциональных состояний по вокализациям детеныша макаки людьми. Голубева И.Ю., Кузнецова Т.Г., Фролова О.В., Ляжко Е.Е. *Акустический журнал*. 2025. 71, № 5S, с. 34-35. Рус.

Один из подходов к проверке гипотезы эволюционной преемственности в выражении эмоций является оценка способности людей воспринимать эмоциональное содержание вокализации других видов. Настоящая работа продолжает исследование вокализаций обезьян и возможности распознавания их эмоцио-

нальных состояний по голосу. Вокализации приматов меняются с возрастом и могут различаться в зависимости от окружающей среды и индивидуального опыта. Цель исследования — изучение способности людей к распознаванию эмоциональных состояний: «радость—спокойное—печаль—гнев—страх» по голосовым сигналам детеныша макаки второго и восьмого месяцев жизни, воспитанного человеком. В исследовании приняли участие две группы слушателей — специалисты с профессиональным опытом работы с приматами и нативные слушатели. Специалистами осуществлена запись с последующим отбором вокализаций макаки в комфортных (покой, радость) и дискомфортных состояниях (печаль, гнев, страх), их аннотирование в соответствии с поведенческой ситуацией. Идеология исследования и выбор состояний основан на подходе, используемом в методике «CEDM». Результаты перцептивного эксперимента сопоставляются с данными по отражению эмоциональных состояний в вокализациях обезьян двух-трех лет в условиях группового содержания. Ключевые слова: распознавание, эмоциональное состояние, вокализации, детеныш макаки.

26.01-01.365 Что мы узнали о нашем мозге, исследуя слуховой путь амфибий. *Бибиков Н.Г.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 73. Рус.

Хорошо известно, что подавляющее большинство данных, характеризующих обработку звуковых сигналов в слуховых ядрах ствола мозга млекопитающих, было получено на наркотизированных объектах. В самые последние годы выяснилось, что при введении наркотических веществ характер реакции нейронов продолговатого и среднего мозга может кардинально измениться, и эти изменения довольно трудно поддаются моделированию. В этой связи для понимания принципов обработки звуков на начальных этапах слухового пути актуальными могут оказаться данные, получаемые на тех животных, у которых регистрация осуществлялась в отсутствие наркоза. Среди них особое место занимают бесхвостые амфибии, которые отделились от эволюционного древа позвоночных практически одновременно с млекопитающими и которые, возможно, сохранили принципиально схожие схемы обработки сигнала. В докладе приведены некоторые результаты, обнаруженные вначале у амфибий, которые в последующем были описаны и у млекопи-

тающих. Среди этих наблюдений можно отметить прежде всего механизмы, обеспечивающие в процессе адаптации к действию сигнала существенное повышение чувствительности слуха к его малым изменениям. Также именно у амфибий впервые были обнаружены специфические клетки, реагирующие не столько на параметры сигнала, сколько на его новизну. Резко выраженный у амфибий в режиме полной адаптации эффект стохастического резонанса, когда наличие шума позволяет выделять слабый сигнал, только сейчас, видимо, обнаружен у высших позвоночных. Ключевые слова: обработка звуковых сигналов мозга млекопитающих.

26.01-01.366 Предварительные результаты исследования акустического репертуара ларг *Phoca largha*, полученные в приморском океанариуме. *Горовой С.В., Катин И.О.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 75. Рус.

Звуковые сигналы ларг *Phoca largha*, обитающих в прибрежных акваториях и вблизи островов дальневосточного побережья России, воспринимаются на слух как рычания, завывания, крики и др., но детальный анализ показывает, что они представляют собой амплитудно-модулированные последовательно-импульсы длительностью до единиц миллисекунд, следующих через регулярные интервалы времени. Описаны предварительные результаты анализа некоторых звуковых сигналов, входящих в акустический репертуар отдельных особей ларг, содержащихся более 5 лет в открытых плавучих вольерах Приморского океанариума в б. Парис, о. Русский залива Петра Великого в Японском море. Регистрация звуковых сигналов ларг была выполнена в воздухе на частотах до 20 кГц с использованием измерительного конденсаторного микрофона. В процессе специально подготовленных экспериментов ларги издавали различные звуковые сигналы по командам тренеров. Приведены результаты сравнения осциллограмм и спектрограмм зарегистрированных звуковых сигналов, описана методика проведения экспериментов. Ключевые слова: ларга *Phoca largha*, морские млекопитающие, звуковые сигналы морских млекопитающих.

См. также **26.01-01.334**, **26.01-01.350**, **26.01-01.361**, **26.01-01.363**

Физические основы технической акустики

Устройства для генерации, репродукции, приема акустических сигналов

26.01-01.367 Влияние геометрии на локализацию звука: исследование 18-элементных микрофонных решеток. *Geometry-Dependent Performance in Sound Localization: A Study of 18-Element Microphone Arrays.* *Huang L., Zeng R.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 2, с. pp135-143. Англ.

This study examines the performance of six different two-dimensional, 18-element microphone array geometries—BK, Ring, Reuleaux, Logarithmic, Triangle, and Starfish—for sound source localization. The arrays' performances are systematically evaluated using beamforming algorithms and acoustic pressure reconstruction, focusing on key metrics such as main lobe width, side lobe magnitude, reconstruction error, and resolution quality over frequencies ranging from 0 to 3000 Hz. Additionally, the study investigates the adaptability of these configurations at various distances and explores their frequency-dependent behavior. The results indicate that array geometry substantially impacts localization accuracy, with the Starfish configuration demonstrating superior overall performance, exhibiting the narrowest main lobe width, highest main lobe amplitude, lowest reconstruction error, and consistently high resolution. Thus, the Starfish configuration is recommended as optimal for effective sound source localization applications.

См. также **26.01-01.177**

Акустические измерения и аппаратура

26.01-01.368 Экспериментальное исследование акустических процессов демонстратора двигательной установки с центральным телом методом акустических визуализаций. *Пешков Р.А., Третьяков П.А., Куплевацкий Д.В., Худяков М.С.* *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника.* 2025, № 3, с. 135-141. Рус.

Проводится экспериментальное исследование и обработка результатов акустических процессов, осуществляющихся при взаимодействии высокотемпературных турбулентных сверхзвуковых нерасчетных струй демонстратора двигательной установки с центральным телом с плоской непроницаемой преградой методом акустических визуализаций. Впервые получены картины акустического поля при взаимодействии струи с преградой для различных частотных диапазонов. Ключевые слова: ракета-носитель, аэроакустика, струя, преграда, акустическая визуализация, локализация шума.

26.01-01.369 Методика ультразвуковой толщинометрии. *Гулевский И.В., Киреев А.В., Гурьева А.А.* *Труды Центрального аэродинамического института им. проф. Н. Е. Жуковского (ЦАГИ).* 2023, № 2819, с. 224-225. Рус.

26.01-01.370 Неразрушающий контроль и определение физических свойств твердых материалов методом тепловозвуковой аналогии. *Ковылин А.В.* *Приборы.* 2025, № 5, с. 24-28. Рус.

Предложен метод неразрушающего контроля физических па-

раметров твердых материалов. Этот метод позволяет измерять температуру, тепловой поток и определять теплофизические и акустические свойства, используя тепловую аналогю. Представлено математическое исследование, в ходе которого были определены параметры, зависимости и критерии, свойственные процессу распространения температурных и звуковых волн в твердых материалах. Результаты математического эксперимента были подтверждены экспериментально на образце из фторопласта. Основываясь на полученных экспериментальных данных о температуре и тепловом потоке, были вычислены важные физические свойства материала, такие как теплопроводность, объемная теплоемкость, температуропроводность, поверхностная скорость температурной волны, а также акустическая скорость звука в материале. Экспериментальная проверка разработанного метода и системы, которая его реализует, показала значительное улучшение точности в определении свойств материала — более чем на 5%.

26.01-01.371 Экспериментальное определение оптимального диапазона работы виброизолятора. *Имаева Э.Ш., Мазидуллин Д.Н. Инженерная физика.* 2025, № 9, с. 29-33. Рус.

Описывается проведение эксперимента по определению работоспособности виброизолятора, измерение параметров колебательного процесса виброзащитной системы и определение диапазона рабочего режима системы. Для повышения эффективности виброзащиты машин и механизмов путем улучшения качества диагностирования системы в реальном времени было проведено сравнение виброперемещений, полученных при выходе на рабочий режим виброизолятора, в эксперименте и по математической модели. Ключевые слова: вибрации, виброизмерительный прибор, виброизолятор, виброперемещение, частота колебаний.

26.01-01.372 Применение метода имитационного моделирования при выборе параметров виброгасителя. *Имаева Э.Ш., Шкробий И.С. Инженерная физика.* 2025, № 11, с. 42-48. Рус.

Приведены этапы построения модели виброзащитной системы и предпосылки выбора ее основных параметров; обоснованы факторы, влияющие на работу защищаемого оборудования. Предлагаемая методика выбора оптимальных параметров виброгасителя на основе упрощенной имитационной модели предлагает рассматривать один параметр: массу демпфирующего элемента. Приведен пример расчета модели виброзащитной системы с использованием уравнений Лагранжа второго рода. Математический аппарат расчетов основан на методах аналитической механики с использованием программного обеспечения Mathcad. Ключевые слова: виброгаситель, виброзащита, демпфирование, имитационное моделирование, колебания механизмов, масса виброгасителя.

26.01-01.373 Волоконно-оптические датчики акустической эмиссии на базе интерференционной измерительной системы для регистрации развивающихся повреждений корпусных изделий. *Байшов О.В., Ромашико Р.В., Байшов И.О., Безрук М.Н., Байшова Т.И. Морские интеллектуальные технологии.* 2025, № 4-3, с. 34-41. Рус.

Работа посвящена исследованию возможности использования волоконно-оптических датчиков (ВОД) на базе адаптивного интерферометра для регистрации сигналов акустической эмиссии в корпусных изделиях судов и иных конструкций морского транспортного назначения. Оптические волокна датчиков могут быть встроены в структуру полимерных композиционных материалов (ПКМ) на стадии их изготовления. В работе представлены результаты исследования параметров сигналов, регистрируемых ВОД, встроенных в структуру образцов, выполненных из ПКМ. Более низкая чувствительность в области высоких частот компенсируется распределенностью ВОД по объекту контроля и высокой чувствительностью датчиков в области низких частот. Измерительная система на адаптивном голографическом интерферометре с фоторефрактивным кристаллом позволяет стабилизировать рабочую точку ВОД при низкочастотных колебаниях температуры и деформации. Показана высокая надежность и сохранение работоспособности ВОД при нагружении материала со встроенным оптическим волок-

ном. Рост растягивающей нагрузки приводит смещению значений низкочастотных гармоник до 20 кГц в область больших частот при сохранении положения пиков по частоте. Ключевые слова: полимерный композиционный материал (ПКМ), акустическая эмиссия, волоконнооптический датчик, пьезоэлектрический преобразователь, спектр Фурье.

26.01-01.374 Ультразвуковые технологии изготовления пьезокерамических преобразователей. *Пугачев С.И., Рытов Е.Ю. Акустический журнал.* 2025, 71, № 5S, с. 78. Рус.

Технология ультразвукового формообразования (УЗФО) позволяет изготавливать высококачественные пьезокерамические элементы (ПКЭ) различной конфигурации при пониженных значениях статического давления и пониженной температуре обжига. Технология ультразвуковой металлизации (УЗМ) материалов низкотемпературными сплавами может служить альтернативой промышленной технологии создания металлических электродов на пьезокерамике методом вжигания серебро-содержащей пасты, создавая соединения пьезокерамика — металл повышенной прочности и надежности. Технология ультразвукового склеивания (УЗСкл) материалов позволяет оптимизировать процесс соединения активных и пассивных элементов составного стержневого пьезокерамического преобразователя (ПКП), улучшая смачивание клеем поверхности твердого тела и сокращая продолжительность отверждения клея. Ключевые слова: ультразвук, пьезокерамика, формообразование, металлизация, склеивание.

26.01-01.375 Влияние усталостного разрушения на коэффициент Пуассона и параметр акустической анизотропии метастабильной аустенитной стали. *Гончар А.В., Мишакин В.В., Клошников В.А. Акустический журнал.* 2025, 71, № 5S, с. 78. Рус.

Исследовалось влияние усталостного разрушения на упругие характеристики метастабильной аустенитной стали AISI 321: коэффициент Пуассона и параметр акустической анизотропии. Расчет упругих характеристик производился по данным ультразвуковых измерений времени распространения продольных и поперечных упругих волн. Исследования показали, что на параметр акустической анизотропии влияют изменение кристаллографической текстуры матрицы материала и образование ориентированных кристаллов деформационного мартенсита. Основными факторами, влияющими на коэффициент Пуассона, являются накопление микрповреждений и изменение фазового состава. По результатам анализа экспериментальных результатов получены выражения для расчета по данным акустических измерений поврежденности и относительной накопленной пластической деформации, широко используемых в инженерной практике для определения усталостного ресурса материалов конструкций. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00857 (<https://rscf.ru/project/24-29-00857/>). Ключевые слова: аустенитная сталь, усталость, ультразвуковой метод, параметр акустической анизотропии, коэффициент.

26.01-01.376 Восстановление свойств микромембран и массы напыленных наночастиц по пикосекундным акустическим измерениям. *Глушков Е.В., Глушкова Н.В., Войко О.В. Акустический журнал.* 2025, 71, № 5S, с. 79. Рус.

Определение эффективных упругих модулей микромембран и осредненной массы осаждаемых на них наночастиц имеет важное значение для развития современных нанотехнологий. Традиционные подходы, такие как просвечивающая электронная микроскопия и энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия, широко используются в настоящее время, но имеют определенные ограничения. В работе на примере исследований, проведенных на образцах с наносферами из оксида кремния, нанесенными на мембраны субмикронной толщины из нитрида кремния с золотым покрытием, демонстрируются возможности пикосекундной акустики в сочетании с полуаналитическим моделированием бегущих волн, возбуждаемых в таких структурах. Разработанный метод включает следующие этапы: — проведение лазерно-оптических измерений; — дискретное преобразование Фурье полученных данных из пространственно-

временной области в область волновое число—частота; — применение улучшенной схемы метода матричных пучков для получения стабильных экспериментальных точек дисперсионных кривых бегущих волн; — определение эффективных параметров свободной мембраны путем минимизации невязки между расчетными и экспериментально полученными волновыми характеристиками; — оценка осредненной массы наночастиц путем подгонки характеристик бегущих волн, рассчитываемых в рамках полуаналитической модели для двуслойного волновода с поверхностным пригузом, к экспериментально полученным точкам для образца с наночастицами. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-11-00140. Ключевые слова: субмикронные мембраны, поверхностные наночастицы, пикосекундные зондирующие сигналы, ультразвуковые бегущие волны, обратная коэффициентная задача.

26.01-01.377 Экспериментально-теоретическое исследование взаимодействия пульсирующего сушильного агента с твердой увлажненной частицей. *Зайнутдинова Д.А., Павлов Г.И., Горбунова О.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 80. Рус.*

Рассматривается взаимодействие пульсирующего потока газа с твердой увлажненной сферической частицей. Пульсациями потоков возможно интенсифицировать явления тепло и массо-переноса в несколько раз по сравнению со стационарным течением. Авторами анализируются влияние температуры газа, начальной влажности частицы и ее диаметра на характеристики тепло и массообмена путем проведения эксперимента и моделирования процесса в программной среде COMSOL Multiphysics. Ключевые слова: увлажненная частица, сушка, пульсирующий режим, пульсации, газовый поток, сушильный агент.

26.01-01.378 Фазовращатель на основе резонаторов Гельмгольца для управления звуковыми волнами. *Усачева И.А., Горшочков А.С., Костылев К.А., Салин М.Б. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 98. Рус.*

Представлены результаты исследования акустического фазовращателя на основе резонаторов Гельмгольца, которые располагаются в отростках волновода и изменяют набег фазы проходящей через этот участок волны. В рассмотренном устройстве регулирование фазы прошедшей волны осуществляется путем одновременного изменения объемов нескольких последовательно установленных резонаторов с помощью поршня. Численно была оценена зависимость характеристик фазовращателя от числа резонаторов и высоты волновода, что помогло найти оптимальную конфигурацию для лучшей работы. Методом 3D-печати были изготовлены образцы фазовращателей, и их испытание в импедансной трубе подтвердило, что разрабатываемая система может изменять фазу звука от 0 до 2π в диапазоне частот от 2 до 4 кГц. Для перехода от волноводных задач к управлению акустическим полем в пространстве описанный фазовращатель предполагается использовать в качестве элементарной ячейки акустической метаповерхности, которая может отклонять или фокусировать проходящую через нее волну. Ключевые слова: акустический фазовращатель, резонатор Гельмгольца, метаповерхность, контроль акустических полей, импедансная труба.

26.01-01.379 Разработка нового устройства геофизических исследований на основе импульсного метода прохождения акустической волны и результаты лабораторных исследований. *Блоцкая А.И., Кулькова А.С., Селезнев Д.С., Сталбо Л.А., Следков В.В., Каравеев М.А. Контроль. Диагностика. 2025. 28, № 9, с. 24-34. Рус.*

Рассматривается новый подход к использованию акустического метода для мониторинга состояния крепления скважины. Одной из проблем оценки негерметичности скважин является отсутствие метода, который позволял бы контролировать крепление скважины в процессе эксплуатации с минимальными затратами энергии и финансов для недропользователей. Учитывая недостатки имеющихся технологий, разрабатывается новая методика, которая сможет дополнить существующие решения и оптимизировать процесс эксплуатации производственных объектов. Эта методика в дальнейшем позволит интегрировать в принятую модель строительства скважин новые ультразвуковые системы мониторинга целостности протяженных

объектов из цементного камня кольцевой формы. Цель исследования — определить закономерности изменения характеристик акустического сигнала при наличии дефекта в цементном камне кольцевой формы с помощью импульсного метода прохождения акустической волны для создания современной системы мониторинга состояния крепления скважин в процессе эксплуатации. Приведены результаты применения импульсного метода прохождения акустической волны на протяженных объектах кольцевой формы до 8 м в целях выявления продольных каналов (отслоение цементного камня от металлической трубы) и поперечных трещин. Полученные данные сопоставлены с результатами моделирования в специализированном ПО COMSOL Multiphysics и испытаниями с использованием геофизического цементомера АКЦ-48. Рассмотрены образцы с изоляционным материалом и образцы с контактом по всей поверхности трубы, что позволило оценить эффективность метода для обнаружения трещин и зазоров на контакте обсадной колонны и цементного камня. Ключевые слова: импульсный метод прохождения акустической волны, герметичный цементный камень, предупреждение образования трещин, непрерывный мониторинг.

26.01-01.380 Связи параметров сигналов акустической эмиссии с особенностями обработки материалов концентрированными потоками энергии. *Козочкин М.П., Федоров С.В., Мигранов М.Ш., Остриков Е.А., Гусев А.С. Контроль. Диагностика. 2025. 28, № 10, с. 25-40. Рус.*

В результате проведения серии экспериментов на лазерном и электроэрозивном оборудовании были установлены связи параметров акустической эмиссии (АЭ) с особенностями обработки концентрированными потоками энергии (КПЭ). Проведена аналогия характера изменения параметров АЭ при обработке КПЭ и при традиционной лезвийной обработке. Показано влияние плазменного факела при лазерной обработке на особенности изменения сигналов АЭ, указаны перспективы использования АЭ для диагностики и мониторинга процессов обработки КПЭ. Ключевые слова: диагностика, акустическая эмиссия, лазерная обработка, плазменный факел, самофокусировка, спектр, частотный диапазон.

26.01-01.381 Разработка способов контроля продольных механических напряжений в рельсах с использованием эффекта акустоупругости. *Степанова Л.Н., Курбатов А.Н., Бежер С.А., Кабанов С.И., Чернова В.В. Контроль. Диагностика. 2025. 28, № 12, с. 4-17. Рус.*

Рассмотрены четыре способа контроля внутренних продольных механических напряжений в железнодорожных рельсах с использованием эффекта акустоупругости. Работа первого способа основана на использовании нагруженного рельса и его ненагруженного аналога, выполненного в виде отрезка. На них устанавливались по два пьезоэлектрических преобразователя и вводились ультразвуковые импульсы продольных и поперечных волн. Затем измерялась разность времен прохождения этих волн в рельсе и его аналоге, по которой рассчитывалось продольное механическое напряжение с погрешностью 10—14%. Во втором способе на равном расстоянии между излучающим и приемным преобразователями размещался третий, раздельно-совмещенный преобразователь. По разности времен прохождения акустических волн измерялось напряжение в рельсе и его высота. Погрешность контроля составляла 4%, сокращалась время измерения, так как в этом способе отрезок рельса не нагружался. В третьем способе на рельс дополнительно устанавливались три приемных преобразователя на расстояниях, зависящих от высоты рельса. По измеренным временам распространения продольных и трансформированных волн от излучающего до каждого из приемных преобразователей рассчитывалось механическое напряжение в рельсе. Кроме того, измерялась его высота, повышалась точность измерения напряжений до 1,9%. В четвертом способе использовалась железнодорожная тележка, на которой устанавливался отрезок рельса, измерялись временные задержки распространения акустических волн подключенными приемными преобразователями. Времена прихода сигналов к приемному преобразователю позволяли определять в динамике механические напряжения в рельсе.

Погрешность контроля механических напряжений данным способом не превышала 10—15%. Преимуществом данного способа является возможность контроля всего объема рельса от головки, шейки и заканчивая донной поверхностью, а измерения в рельсе и его аналоге проводились в одинаковых климатических условиях в динамике на протяжении всего участка контроля. Ключевые слова: рельс, отрезок рельса, механическое напряжение, бесстыковой путь, акустоупругость, ультразвук, погрешность.

26.01-01.382 Исследование связей параметров акустической эмиссии со стадиями процесса взаимной сферической притирки деталей шарнира. Козочкин М.П., Клячков В.А. Контроль. Диагностика. 2025. 28, № 12, с. 51-62. Рус.

Проводимые исследования направлены на создание автоматизированного оборудования для взаимной сферической притирки деталей шарниров. Процесс притирки был реализован на специальном стенде, позволившем изучать изменения параметров сигналов акустической эмиссии при прохождении разных стадий технологического процесса. Изучались связи параметров акустической эмиссии с ростом площади пятна контакта сферических поверхностей, изменением момента сил трения при вращении шарнира, состоянием алмазной пасты в контакте. Было установлено, что акустические сигналы могут использоваться при создании системы мониторинга при автоматизации технологического процесса. Ключевые слова: акустическая эмиссия, сферические шарниры, взаимная притирка, свободный абразив, амплитудный спектр, пятно контакта, момент силы трения, акустический мониторинг.

26.01-01.383 Моделирование физического эксперимента диагностики трубопроводов методом ударно-волнового воздействия. Суркаев А.Л., Светличная В.Б., Матвеева Т.А., Мустафина Д.А., Разманкулова Г.А. Контроль. Диагностика. 2026. 29, № 1, с. 51-57. Рус.

Предложен метод диагностики по выявлению потенциально опасных участков трубопроводов, предназначенных для жидкостных и газовых потоков, основанный на применении быстропотекающего ударно-волнового воздействия электрического разряда. Обоснованность предлагаемого метода диагностики подтверждается результатами физического эксперимента, моделирующего процессы ударно-волнового воздействия на внутреннюю поверхность диагностируемых труб. Представлена информационно-измерительная система для исследования пространственно-временных параметров падающих и взаимодействующих ударных волн аксиальной направленности электрического взрыва проводника в разрядной камере с конденсированной средой. Ключевые слова: диагностика трубопроводов, электрический взрыв проводников, ударная волна, волноводный пьезоэлектрический преобразователь давления, конденсированная среда, разрядная камера.

См. также **26.01-01.72, 26.01-01.117, 26.01-01.118, 26.01-01.128, 26.01-01.151, 26.01-01.152, 26.01-01.153, 26.01-01.155, 26.01-01.156, 26.01-01.180, 26.01-01.202, 26.01-01.204, 26.01-01.209, 26.01-01.221, 26.01-01.234, 26.01-01.245, 26.01-01.261, 26.01-01.279, 26.01-01.280, 26.01-01.290, 26.01-01.297, 26.01-01.299, 26.01-01.367**

Медицинский ультразвук, медицинские приборы

26.01-01.384 Исследование акустических характеристик материалов фантомов для обучения навыкам регионарной анестезии. Булгакова Ю.В. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 83. Рус.

Фантомы необходимы для обучения и отработки навыков ультразвуковой диагностики, поэтому характеристики материалов, из которых они изготавливаются, должны максимально соответствовать свойствам живых тканей. Для выполнения этого требования при разработке фантомов используют агар-агар, желатин и куриное мясо. Однако такие материалы имеют свои недостатки, а именно: подверженность росту бактерий,

высыханию, а также недостаточное анатомическое сходство с моделируемым органом, поэтому целесообразно использование иных материалов. Применение специальных полимеров позволяет преодолеть перечисленные недостатки и достичь необходимого уровня эхогенности и износостойкости. Эти характеристики являются определяющими для многократного использования фантома в обучении навыкам малоинвазивных анестезиологических манипуляций. Однако эти материалы недостаточно изучены с точки зрения акустических характеристик, которые в значительной степени зависят от химического состава образцов. Ключевые аспекты исследования включают измерение затухания и скорости распространения звука в тканеимитирующих материалах. Критерии выбора материалов основаны на сопоставимости эхогенности и способности адекватно имитировать акустические свойства тканей человека. В работе представлены результаты измерений акустических характеристик материалов, сопоставимых с параметрами тканей человека, а именно: мягких тканей, костей, нервов и сосудов, которые моделируются в фантоме. Ключевые слова: ультразвуковая диагностика, тканеимитирующие материалы, акустические характеристики, регионарная анестезия, фантом.

26.01-01.385 Увеличение акустической прозрачности черепа после приема бисфосфонатов. Сахарова Г.М., Крогмаль А.А., Галимова Р.М., Хатмуллина А.Н., Набиуллина Д.И., Бузаев И.В., Авзалетдинова Д.Ш., Чупова Д.Д., Хожлова В.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 84-85. Рус.

Метод тепловой абляции с помощью фокусированного ультразвука под контролем МРТ успешно используется для лечения болезни Паркинсона, эссенциального тремора и дистонии. Ключевым критерием отбора пациентов является величина, характеризующая усредненное отношение минимальной и максимальной плотности черепа (показатель SDR > 0.35), не всегда гарантирующая успех операции. Исследования показывают, что прием бисфосфонатов может повысить плотность костной ткани, что позволяет проводить операцию даже при изначально низком SDR. В работе рассмотрены 5 клинических случаев, где первая попытка тепловой абляции на аппарате ExAblate Neuro 4000 оказалась неудачной. У 4 из 5 пациентов SDR был выше порогового значения (0.32—0.42). После 6—12 месяцев терапии алендроновой кислотой, витамином D и кальцием все пациенты успешно прошли повторную процедуру. SDR увеличился у 4 пациентов (в среднем до 0.424 ± 0.045), а в одном случае снижение с 0.39 до 0.37 не помешало успеху операции. Средняя максимальная фокальная температура повысилась с 53.6 ± 4.0 до $55.7 \pm 4.1^\circ\text{C}$ ($p=0.018$), а максимальная температура у каждого пациента увеличилась с 57.0 ± 2.4 до $60.2 \pm 1.8^\circ\text{C}$ ($p=0.031$). Анализ КТ-изображений показал уплотнение костной ткани: уменьшилась доля вокселей с низкой плотностью и увеличилась доля с высокой. Трехмерная регистрация выявила локальные изменения плотности, замещение дефектов и зарастание пустот. Визуальный анализ изменений может быть полезен для принятия решения о повторной операции, так как SDR не всегда отражает ультразвуковую проницаемость кости. Ключевые слова: терапевтический ультразвук, тепловая абляция, медицинский ультразвук, транскраниальный фокусированный ультразвук.

26.01-01.386 Влияние внутренней структуры костей черепа человека на искажение ультразвукового пучка при транскраниальной фокусировке ультразвука в мозг. Чупова Д.Д., Росницкий П.Б., Крогмаль А.А., Солонцов О.В., Сахарова Г.М., Галимова Р.М., Бузаев И.В., Сапожников О.А., Хожлова В.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 85. Рус.

Высокоинтенсивный фокусированный ультразвук является активно развивающимся методом неинвазивной транскраниальной хирургии и уже применяется в клинической практике преимущественно для лечения эссенциального тремора и тремора, возникающего при болезни Паркинсона. Метод заключается в фокусировке ультразвукового пучка через кости черепа в центральную область мозга, сопровождающейся локализованным нагревом и некрозом тканей в области фокуса. Важным фактором, влияющим на прохождение ультразвука, является степень однородности внутренней структуры костей че-

репа. Для ее оценки используется параметр SDR (Skull Density Ratio), вычисляемый как отношение плотностей трабекулярной и кортикальной костей черепа. Для пациентов с низким значением SDR возможно проведение медикаментозной терапии с целью уплотнения костной ткани. В работе были рассмотрены анонимизированные данные КТ пациентов до и после лекарственной терапии. На их основе были построены трехмерные акустические модели голов пациентов и с помощью программного пакета k-wave проведено моделирование поля фокусирующего 256-элементного компактного ультразвукового излучателя с рабочей частотой 1.2 МГц с учетом и без учета компенсации аберраций. Расчет поля проводился через различные участки черепа путем поворота излучателя. Проведено сравнение степени искажений пучка участками черепа до и после лекарственной терапии, оценка максимального давления в фокусе и качества фокусировки после проведения компенсации аберраций. Получено, что для пациентов после лечения характерно меньшее искажение ультразвукового пучка, а также более высокие значения давления в фокусе излучателя. Ключевые слова: медицинский ультразвук, многоэлементные решетки, ультразвуковая транскраниальная хирургия, компьютерная томография.

26.01-01.387 Методы компенсации дыхательных движений при гистотрипсии с кипением тканей печени и почек свиньи. Пономарчук Е.М., Тома Ж., Сонг М., Хохлова В.А., Хохлова Т.Д. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 85-86. Рус.

Гистотрипсия с кипением (ГК) — один из методов неинвазивной ультразвуковой (УЗ) хирургии, использующий мощные фокусированные УЗ-импульсы миллисекундной длительности для механического разрушения целевой биоткани под УЗИ-контролем. При воздействии на органы брюшной полости дыхательные движения уменьшают точность ГК-воздействия. В работе сравнивались два метода компенсации дыхательных движений, основанные на эхо-импульсном отслеживании движения кожи вдоль оси УЗ-пучка, т.е. перпендикулярно поверхности кожи. В первом методе компенсация проводилась с помощью роботизированной руки, перемещающей ГК-излучатель вдоль оси УЗ-пучка. Во втором методе проводилось отключение ГК-импульсов при смещении кожи, превышающем пороговое, т.е. на фазе вдоха. Объемные ГК-разрушения получались в печени и почках анестезированных свиней импульсами 2—10 мс с помощью 256-элементного 1.5 МГц излучателя. Прицеливание, отслеживание движений и визуализация воздействия осуществлялись УЗИ-датчиком, коаксиальным с ГК-излучателем. Размеры зон полностью и частично разрушенной ткани, полученные с использованием рассматриваемых двух методов компенсации движений или без них, измерялись гистологически. Показана синхронность дыхательных движений печени и почек с движением кожи. Из-за превалирования дыхательных движений поперек оси УЗ-пучка, компенсация только вдоль оси оказалась недостаточной для предотвращения внецелевого повреждения ткани в поперечном направлении. Отключение импульсов на фазе вдоха, благодаря синхронности дыхательных движений в обоих направлениях, позволило увеличить точность воздействия. Таким образом, отключение импульсов увеличило время разрушения на 24%, обеспечивая при этом его полноту и точность. Ключевые слова: мощный фокусированный ультразвук, неинвазивная хирургия, гистотрипсия, дыхательное движение, компенсация.

26.01-01.388 Наночастицы пористого кремния: новые подходы к неинвазивной терапии с использованием медицинского низкоинтенсивного ультразвука. Осминкина Л.О., Кудрявцев А.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 86-87. Рус.

Сонодинамическая терапия представляет собой перспективный метод неинвазивного лечения злокачественных опухолей, сочетающий воздействие низкоинтенсивного ультразвука с применением соносенсибилизаторов — агентов, повышающих чувствительность опухолевых клеток к ультразвуковому излучению. Особый интерес в последние годы представляют наночастицы пористого кремния (pSi NPs), обладающие высокой биосовместимостью, способностью к биодеградации до нетоксичной кремниевой кислоты, а также выраженной фотолуминес-

ценцией, обусловленной квантово-размерными эффектами. В работе показано, что одной из ключевых особенностей pSi NPs является способность выступать в роли центров нуклеации кавитационных пузырьков, что значительно снижает порог возникновения кавитации и усиливает ультразвуковое воздействие на опухолевые ткани. Кавитационные эффекты приводят к механическому разрушению клеточных мембран и гибели клеток. Кроме того, даже на докавитационной стадии pSi NPs способны индуцировать апоптоз, что способствует селективному устранению опухолевых клеток без развития воспаления. Комбинированное воздействие ультразвука и pSi NPs демонстрирует синергетический эффект и высокую эффективность как *in vitro*, так и *in vivo*. Таким образом, pSi NPs являются многообещающей платформой для разработки новых стратегий неинвазивной онкотерапии. Ключевые слова: сонодинамическая терапия, пористый кремний, наночастицы, медицинский ультразвук, кавитация.

26.01-01.389 Тепловое разрушение биоткани в ударно-волновых импульсно-периодических фокусированных ультразвуковых полях. Карзова М.М., Пестова П.А., Цысарь С.А., Хохлова В.А. Акустический журнал. 2025. 71, № 5S, с. 87-88. Рус.

Воздействие мощным фокусированным ультразвуком (HIFU) используется в клинической практике для получения теплового некроза биоткани при ее локальном нагревании в фокальной области ультразвукового пучка. Формирование объемных тепловых разрушений, состоящих из множественных единичных, происходит за счет тепловой диффузии, что приводит к неопределенности конечной формы разрушения и возможным нежелательным повреждениям окружающих тканей. В работе исследованы импульсно-периодические ударно-волновые режимы облучения с постоянной по времени средней мощностью, при этом увеличение пиковой мощности компенсируется увеличением скважности. Главным преимуществом режимов с большой пиковой мощностью и соответствующим сильным проявлением нелинейных эффектов является образование в фокусе ударных фронтов в профиле волны и, как следствие, быстрое получение единичных разрушений в строго заданном объеме за счет эффективного тепловыделения на ударных фронтах. Представлены результаты проведенных лабораторных экспериментов *ex vivo* по созданию объемных тепловых разрушений в различных биологических тканях. В качестве источника мощного ультразвука использовался одноэлементный излучатель с частотой 1.2 МГц, фокусным расстоянием 120 мм и полной апертурой 120 мм. Показано, что использование импульсно-периодических ударно-волновых режимов облучения позволяет получить разрушения с резкой границей между коагулированной и интактной тканью, в несколько раз увеличить скорость тепловой абляции по сравнению с непрерывным режимом облучения с той же средней мощностью, а также визуализировать процесс формирования разрушения с помощью диагностического ультразвука за счет рассеяния на пузырьках кипения. Ключевые слова: фокусированный ультразвук, нелинейные волны, ударный фронт, HIFU.

См. также **26.01-01.53, 26.01-01.354, 26.01-01.355**

Акустическая диагностика и неразрушающий контроль

См. **26.01-01.57, 26.01-01.155, 26.01-01.156, 26.01-01.181, 26.01-01.184, 26.01-01.279, 26.01-01.297, 26.01-01.369, 26.01-01.370, 26.01-01.373, 26.01-01.375, 26.01-01.379, 26.01-01.380, 26.01-01.381, 26.01-01.382, 26.01-01.383**

Акустические технологии в промышленности

26.01-01.390 Визуализация высокочастотным сфокусированным ультразвуком повреждений структуры углепластиков при механической обработке. Рыжова Т.Б. Труды Центрального аэрогидродинамического института им. проф. Н. Е. Жуковского (ЦАГИ). 2023, № 2819, с. 228-230. Рус.

См. также 26.01-01.67, 26.01-01.68, 26.01-01.178, 26.01-01.179, 26.01-01.376

Акустический мониторинг технологических процессов

См. 26.01-01.180, 26.01-01.181

Акустическая метрология и калибровка

26.01-01.391 Использование лазерных источников субмикросекундных ультразвуковых импульсов для прецизионного измерения скорости ультразвука образцов миллиметровой толщины. *Карabutov A.A., Саватеева Е.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 51. Рус.

Анализируется возможность повышения точности измерения скорости ультразвука в твердых конструкционных материалах на образцах миллиметрового диапазона толщин. Показана возможность измерений групповой скорости с относительной погрешностью лучше 0.1%. Обсуждаются условия, необходимые для достижения такой точности, и требования к неоднородности и геометрии образца. Ключевые слова: термооптическое возбуждение ультразвуковых импульсов, меры скорости ультразвука, времяпролетный метод измерения скорости ультразвука.

26.01-01.392 Определение амплитудно-частотной характеристики акустических преобразователей методом взаимной корреляции. *Сатарова Е.В., Фейзханов У.Ф.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 51. Рус.

Рассматривается методика определения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) акустических средств измерений с использованием взаимного корреляционного анализа. Актуальность разработки обусловлена необходимостью точной и оперативной оценки характеристик микрофонов и других акустических преобразователей в условиях, приближенных к реальной эксплуатации, без применения громоздких и дорогостоящих измерительных установок. Предлагаемый метод

основан на сравнительном анализе откликов исследуемого и эталонного преобразователей на акустическое возбуждение с известными статистическими параметрами. Вычисление взаимной корреляционной функции между сигналами позволяет выделить информацию, связанную с передаточной функцией измерительной системы, и снизить влияние некоррелированных шумов и помех. Методика не требует предварительного знания точной формы возбуждающего сигнала, что делает ее удобной для практического применения в условиях акустической неопределенности. В работе подробно описаны требования к измерительной системе, алгоритмы обработки сигналов и способы интерпретации полученных данных. Представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность метода. Также приведено сравнение с традиционными способами измерения АЧХ, такими как методы с использованием звуковых калибраторов и акустических камер. Сделан вывод о перспективности применения взаимного корреляционного анализа в задачах метрологического контроля акустических средств измерений. Ключевые слова: взаимная корреляционная функция, корреляционный метод анализа сигналов, передаточная характеристика акустического преобразователя, амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), оценка динамических свойств средств измерений.

26.01-01.393 Текущее состояние обеспечения единства измерений ультразвуковых полей устройств медицинской назначения в воде в частотном диапазоне свыше 0.5 МГц. *Лукин Г.С.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 82. Рус.

Представлены метрологические характеристики эталонов и прослеживаемых к ним средств измерений, применяемых для обслуживания ультразвукового медицинского оборудования. Приведена информация о стандартах и требованиях безопасности, предъявляемых к ультразвуковому медицинскому оборудованию. Обозначены проблематика и перспективы развития обеспечения единства измерений в здравоохранении. Ключевые слова: обеспечение единства измерений, ультразвук, медицинское изделие, техническое состояние.

См. также 26.01-01.226, 26.01-01.367

Акустика в медицинской практике

Ультразвук в хирургии и терапии

26.01-01.394 Моделирование интенсивных ультразвуковых пучков в ударно-волновых режимах на основе уравнения Вестервелта с использованием графических ускорителей. *Конькова Е.О., Хожлова В.А., Юлдашев П.В.* *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 65. Рус.

Численное моделирование распространения звуковых пучков в различных средах имеет большое значение для решения проблем во многих научных и прикладных областях, включая медицинскую акустику. В неинвазивной ультразвуковой хирургии ключевыми задачами являются разработка мощных ультразвуковых преобразователей, расчет параметров создаваемых акустических полей и планирование терапевтического воздействия. Для их решения часто применяется теоретическая модель, основанная на однонаправленном нелинейном уравнении Вестервелта. Однако в ударно-волновых режимах учет таких параметров, как малый размер фокальной области (порядка миллиметра), большой волновой размер излучателей (порядка сотен длин волн) и необходимость учета большого числа гармоник (до 1000), требует построения крупных пространственных сеток с матрицами поля давления размером порядка.

Ультразвук в лабораторных медицинских исследованиях

26.01-01.395 Упругие потери и дисперсия в плотной и пористой сегнетопъезокерамике. *Швецов И.А., Швецова Н.А., Петрова Е.И., Луговая М.А., Константи-*

нова М.Г., Колпачева Н.А., Рыбьянец А.Н. *Акустический журнал.* 2025. 71, № 5S, с. 77-78. Рус.

Требования к характеристикам высокочастотных медицинских ультразвуковых преобразователей за последние годы кардинально изменились в связи с появлением новых областей применения, в первую очередь преобразователей высокоинтенсивного сфокусированного ультразвука (HIFU) для систем ультразвуковой абляции и терапии. Появление новых высокочастотных приложений и удовлетворение их специфических потребностей стимулирует разработку и совершенствование пьезоэлектрических материалов и технологий их изготовления. Пористая сегнетопъезокерамика является одним из новых перспективных пьезоэлектрических материалов, имеющих важное значение для многих технических приложений, в том числе HIFU преобразователей. Упругие и электромеханические потери и дисперсия являются одними из основных физических параметров, ограничивающих применимость пьезоэлектрических материалов в высокочастотных ультразвуковых устройствах. В работе представлены результаты сравнительного исследования упругих потерь и дисперсии в плотной и пористой сегнетопъезокерамике системы ПТС одинакового состава. Для измерения и анализа действительных и мнимых частей комплексных упругих параметров, а также их частотных зависимостей мы использовали ранее разработанный метод анализа пьезорезонансных спектров для основного и высших резонансов толщиной моды колебаний пьезокерамических дисков. Экспериментальные образцы плотной и пористой сегнетопъезокерамики были изготовлены с использованием традиционных методов синтеза и спекания, а также модифицированного метода выжигания порообразователя. В ходе исследования в пористой сегне-

топьезокерамике были обнаружены области аномальной упругой дисперсии, обусловленные изменением соотношения длины волны резонансных колебаний пьезокерамического элемента к масштабу пространственной неоднородности его пористой мик-

роструктуры с ростом частоты. Ключевые слова: пористая и плотная сегнетопьезокерамика, пьезорезонансный спектр, комплексные параметры, упругие потери и дисперсия.

Акустика в инженерном деле

См. 26.01-01.58

Физика

26.01-01.396 **Поиски сигналов образования темной материи в электрон-позитронных столкновениях в модели с дополнительной $U(1)$ -симметрией и дополнительными скалярным полем.** *Боос Э.Э., Буничев В.Е., Кейзеров С.И., Трызов С.С. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 1247-1256. Рус.

В рамках современных программ исследований в ближайшие десятилетия будут проводиться поиски и детальное изучение новых легких частиц-медиаторов, опосредующих взаимодействия между темным сектором и частицами Стандартной модели. В работе представлено теоретическое исследование поисков ассоциативного образования легкой темной материи с парой τ -лептонов в конечном состоянии, опосредованное массивными скалярными и векторными частицами-медиаторами, в электрон-позитронных столкновениях в модели с дополнительной $U(1)$ -симметрией и дополнительным скалярным полем.

26.01-01.397 **Подсистема автоматического аннотирования текстов на основе методов машинного обучения.** *Гладков Л.А., Гладкова Н.В., Курейчик В.М. Изв. ЮФУ. Техн. н.* 2023, № 5, с. 138-151. Рус.

Рассматривается задача автоматического аннотирования текстов. Рассмотрена постановка задачи. Обоснована актуальность и важность разработки эффективных методов и программных систем для решения задачи автоматического реферирования текстов в современных информационных системах. Приведены определения понятий «данные» и «знания». Описан перечень задач, относящихся в направлению Data Mining. Подробно описана задача Text Mining и существующие методы ее решения. Рассмотрена задача реферирования текстов. Выделены основные этапы решения задачи суммаризации. Описаны основные методы автоматической обработки текста, выделены их достоинства и недостатки. Подробно рассмотрены методы реферирования и квазиреферирования. Проведен сравнительный анализ эффективности различных методов реферирования и квазиреферирования, выделены их ключевые достоинства и недостатки. Приведено краткое описание архитектуры encoder-decoder с точки зрения использования данной архитектуры в разрабатываемом алгоритме автоматического реферирования текстов. Приведено описание модели рекуррентных нейронных сетей, отмечены достоинства и недостатки подобных моделей. Рассмотрены архитектуры рекуррентной нейронной сети применительно к решению задачи автоматического реферирования текстов. Приведено описание модифицированной модели рекуррентной нейронной сети — нейронной сети долгой краткосрочной памятью. Приведено описание предложенного алгоритма автоматического реферирования и значения настроек его основных параметров. Приведено описание разработанной программной подсистемы автоматического реферирования. Выполнено компьютерное моделирование и приведены результаты, полученные в ходе вычислительных экспериментов. Выполнена оценка качества полученных решений. Определены оптимальные параметры разработанной программной системы. Сформулированы направления продолжения исследований.

26.01-01.398 **Машина времени в анизотропном пространстве-времени.** *A time machine in an anisotropic spacetime.* *Gladyshev V.O. Нелинейный мир.* 2024. 22, № 3, с. 5-18. Англ.

Problem statement. According to the special theory of relativity, all physical processes are slower than stationary processes should be as measured in the laboratory frame of reference. The effect of time dilation, along with gravitational deceleration, is taken into account in global satellite navigation systems, such as GPS. Controlling the clock rate should also be possible if we assume the existence of certain topological features of the universal space-time continuum. The results of experiments to measure the detection time of a neutrino burst by detectors of neutrinos and gravitational waves may be explained assuming that the space of the terrestrial observer has anisotropic properties. Purpose. To consider the possibility of controlling the rate of physical processes in an anisotropic space. Results. It is shown that in a space-time continuum with dipole anisotropy, or when a spacecraft moves at a relativistic speed with respect to the cosmic microwave background, not only dilation may be experienced but also acceleration of clock rate in cyclically moving clocks or acceleration of physical processes. Efficient operation of the machine may be assured by moving at a constant speed along a closed trajectory, for example, an elliptical one. Practical significance. During long space flights, when the crew and on-board equipment are in a time-dilated state, it should be possible to accelerate the operation rates for the equipment which moves cyclically along the spacecraft velocity vector with respect to the CMB radiation.

26.01-01.399 **На пути к Байкал-Топ: технико-экономическое обоснование наземной системы детекторов для совместной регистрации обширных атмосферных ливней с Байкал-ГВД.** *Towards Baikal-Top: Feasibility Study of an Onshore Detector System for the Joint Registration of EAS with Baikal-GVD.* *Kravchenko E.A., Rubtsov G.I., Zhadan D.S. Ж. эксперим. и теор. физ.* 2026. 169, № 2, с. 205-211. Англ.

We study the possibility of registering high-energy extensive air showers (EAS) by the onshore detector facility simultaneously with the trigger of the Baikal-GVD neutrino telescope. The location of the surface detector array on the shore of Lake Baikal is motivated by the fact that permanent placement of detectors on the surface of the lake is challenging. Within the given geometry, simultaneous registration is possible for EAS with a zenith angle of about 76 degrees within the limited solid angle. The corresponding inclined EAS are dominated by muons and significantly attenuated. The installation will make it possible to obtain an estimate of the number of high-energy muons in EAS. This, subsequently, would make it possible to verify EAS modeling and calculations of the atmospheric neutrino flux. The detector may also be used for cross-calibration of energy and direction measurements by the neutrino telescope. We use the CORSIKA program to simulate the registration of EAS on the shore close to the Baikal-GVD. The propagation of ultra-high energy muons produced by EAS through 3.5 km of water and their registration by Baikal-GVD is simulated using the PROPOSAL package. We calculate the minimal total area of the onshore detectors suitable for several cosmic ray energy thresholds, starting from 1 PeV. The report presents estimates of the number of events jointly registered by the onshore installation and the Baikal-GVD the EAS registration detector systems with different areas. Keywords: ultra-high-energy cosmic rays, extensive air showers, Baikal-GVD, Baikal-Top, muon puzzle, high energy muons.

Астрономия

26.01-01.400 Космологические наблюдательные тесты в эпоху JWST. I. Угловой размер—красное смещение. *Райков А.А., Цымбал В.В., Ловягин Н.Ю.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 351-361. Рус.

26.01-01.401 Газофазная и поверхностная химия в области образования массивных звезд RCW 120. *Плакитина К.В., Курсанова М.С., Виле Д.З., Кочина О.В.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 362-382. Рус.

26.01-01.402 Анализ орбитальной динамики шаровых скоплений в центральной области Млечного Пути. *Байкова А.Т., Смирнов А.А., Бобылев В.В.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 383-408. Рус.

26.01-01.403 Определение поглощения Q-методом для JHK-фотометрии в погруженных скоплениях. *Пермякова Т.А.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 409-421. Рус.

26.01-01.404 Магнитные поля химически пекулярных звезд в скоплениях Trumpler 37, NGC 2281 и Melotte 111. *Романюк И.И., Моисеева А.В., Корчагина Е.П., Якунин И.А., Аитов В.Н.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 422-432. Рус.

26.01-01.405 Структура магнитного поля главных компонентов тесных двойных систем BD-19 5044L, HD37017, HD98088. *Глаголевский Ю.В.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 433-443. Рус.

26.01-01.406 Оптические и физические характеристики карликовой новой FL Psc до и после сверхвспышки 2023 года. *Шиманский В.В., Борисов Н.В., Дудник А.А., Колбин А.И., Моторина Е.Д., Шиманская Н.Н., Винокуров А.С.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 444-457. Рус.

26.01-01.407 Оценки потери вещества атмосфер двух планет молодого аналога Солнца HD 109833. *Саванов И.С.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 458-465. Рус.

26.01-01.408 Исследование эволюции сильно замагниченных белых карликов. III. Частота встречаемости в зависимости от возраста. *Аитов В.Н., Валявин Г.Г.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 466-472. Рус.

26.01-01.409 Дискковая популяция цефеид типа II в Галактике по данным Gaia DR3. *Расторгуев А.С., Заболотский М.В.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 473-485. Рус.

26.01-01.410 Магнитные поля химически пекулярных и родственных им звезд. XI. Основные результаты 2024 года и анализ ближайших перспектив. *Романюк И.И., Моисеева А.В.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 486-497. Рус.

26.01-01.411 RoboPhot: 60-см робот-телескоп Коровской астрономической обсерватории УрФУ. *Чазов Н.А., Терехин Д.Д., Крушинский В.В., Попов А.А., Землина А.О.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 498-507. Рус.

26.01-01.412 Прямые и косвенные техномаркеры — что обнаружим раньше? *Халики Э.* *Астрофизический бюллетень*. 2025. 80, № 3, с. 508-522. Рус.

26.01-01.413 Синис-детекторы субтерагерцового диапазона как основа приемника для радиоастрономических исследований на оптическом телескопе БТА САО РАН. *Тарасов М.А., Гунбина А.А., Чекушкин А.М., Маркина М.А., Юсупов Р.А., Фомицкий М.Ю., Филиппенко Л.В., Эдельман В.С., Вдовин В.Ф., Столяров В.А., Зинченко И.И., Красильников А.М., Маруахо А.С., Мансфельд М.А., Кукушкин Д.Е., Сазоненко Д.А., Большаков О.С., Ермаков А.Б., Леснов И.В., Валеев А.Ф.* *Астрофизический*

бюллетень. 2025. 80, № 3, с. 523-539. Рус.

26.01-01.414 Эффективность параллельных вычислений гравитационных сил методом древовидного кода в моделях тел. Efficiency of parallel computations of gravitational forces by treecode method in n -body models. *Kuzmin N.M., Sirotin D.S., Khoperskov A.V.* *Математическая физика и компьютерное моделирование*. 2024. 27, № 4, с. 39-55. Англ.

Modeling of collisionless galactic systems is based on the n -body model, which requires large computational resources due to the long-range nature of gravitational forces. The most common method for calculating gravity is the TreeCode algorithm, which provides a faster calculation of the force compared to the direct summation of contributions from all particles for n -body simulation. An analysis of the computational efficiency is performed for models with the number of particles up to 10^8 . We considered several processors with different architectures in order to determine the performance of parallel simulations based on the OpenMP standard. An analysis of the use of extra threads in addition to physical cores shows an increase in simulation performance only when all logical threads are loaded, which doubles the total number of threads. This gives an increase in the efficiency of parallel computing by 20 percent on average.

26.01-01.415 Конструкция атмосферного аэростатного зонда для исследования Венеры. *Гурина А.А., Кольга В.В., Кубриков М.В.* *Сибирский аэрокосмический журнал*. 2025. 26, № 3, с. 379-393. Рус.

Венера — вторая по расстоянию от Солнца и ближайшая к Земле планета. Её атмосфера самая плотная, а температура на поверхности Венеры самая высокая среди всех планет Солнечной системы. Из-за конвекции и тепловой инерции плотной атмосферы на Венере температура существенно не изменяется между дневной и ночной сторонами планеты. Температура верхних слоев атмосферы составляет около -45°C . Минимальная температура поверхности не менее 400°C . Давление на поверхности планеты в 90 раз выше, чем на уровне поверхности Земли. В связи со сложностью функционирования космических аппаратов (КА) на поверхности, планета до сих пор остается практически не изученной. Однако на высоте чуть выше 50 км расположена тропопауза — граница между тропосферой и мезосферой. Здесь условия наиболее похожи на условия на поверхности Земли. Это оптимальная область для КА, где температура и давление будут подобными земным. В эту область целесообразней всего отправлять аэростатные зонды для сбора научной информации. Целью исследования является разработка конструкции аэростатного зонда, в течение длительного времени, обеспечивающего передачу информации из тропопазы атмосферы Венеры. В работе проведен баллистический расчет траектории снижения КА в атмосфере Венеры и определены характеристики траектории. С целью определения параметров траектории спуска была написана программа для расчета дифференциальных уравнений движения атмосферного зонда. Разработана конструкция атмосферного зонда и определен порядок его работы.

26.01-01.416 Построение низкоэнергетической траектории перелета Земля—Луна—Земля с применением оптимизационных процедур. *Кудлак В.В., Масленников А.Л.* *Сибирский аэрокосмический журнал*. 2025. 26, № 4, с. 532-543. Рус.

Рассматривается задача проектирования низкоэнергетической траектории перелета космического аппарата (КА) Земля—Луна—Земля с использованием оптимизационных процедур. В работе предложен подход, сочетающий приближенный аналитический метод и эволюционный метод оптимизации, в котором реализуется построение схемы полёта КА с использованием метода сфер действия, в основе которого лежит разделение траектории на несколько участков. Каждый из участков является орбитой, определяемой в виде конического сечения. Первый участок траектории представляет собой геоцентрическую

орбиту полета КА к Луне. На втором участке траектории описывается движение КА внутри сферы действия спутника по селеноцентрической орбите. Последний участок представляет собой траекторию ухода КА от Луны и возвращение на Землю по геоцентрической орбите. Для обеспечения пассивного облета Луны и последующего достижения КА Земли без использования дополнительных импульсных маневров параметры каждого участка траектории должны определяться начальными условиями. Для построения данной схемы полета была сформулирована оптимизационная задача, направленная на определение начальных параметров, формирующих траекторию. Функционал качества как критерий минимизации учитывает расстояния максимального сближения КА с Луной и время полета по траектории. Весовые коэффициенты в функционале качества позволяют настраивать задачу оптимизации, по сути, формируя приоритетность минимизации составляющих функционала качества. В результате решения оптимизационной задачи были подобраны начальные параметры траектории полета к Луне при старте с орбиты Земли, обеспечивающие входение КА в сферу действия спутника и возможность дальнейшего возвращения на Землю без использования импульсных маневров. Результаты моделирования показывают принципиальную применимость рассмотренного подхода к проектированию лунных миссий.

26.01-01.417 Об астрономических обоснованиях технических средств обнаружения астероидов, сближающихся с Землей. *Шустов Б.М., Золотарёв Р.В., Шугаров А.С.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 3, с. 122-134. Рус.

26.01-01.418 Модель оценки блеска космических аппаратов за счет солнечного излучения, отраженного от поверхности Земли. *Класс Е.В., Ульянов С.А.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 3, с. 135-140. Рус.

26.01-01.419 Научно-прикладные аспекты своевременного реагирования на астероидно-кометную опасность. Метод коннективной устойчивости сложных информационно-управляющих систем. *Савельев М.И.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 3, с. 141-150. Рус.

26.01-01.420 Наблюдения комет в астрофизической обсерватории Кубанского госуниверситета. *Иванов В.А., Иванов А.Л., Курбатов Г.А.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 3, с. 151-155. Рус.

26.01-01.421 К вопросу определения вектора состояния космического аппарата по сигналам от одиночных навигационных спутников. *Комжов А.В.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 3, с. 156-160. Рус.

26.01-01.422 Определение орбит внешних спутников Юпитера. *Кузнецов В.В.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 3, с. 161-165. Рус.

26.01-01.423 О степени доверия к результатам моделирования в исследованиях техногенного засорения космоса. *Вениаминов С.С., Гололобов И.Л., Поздняков А.Ю., Шалдаев С.Е., Шатов П.В.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 3, с. 166-168. Рус.

26.01-01.424 О возможности обобщения понятия эфемериды (целеуказания) при поиске слабо отражающих КО. *Вениаминов С.С., Ремень Б.А., Шатов П.В.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 3, с. 169-173. Рус.

26.01-01.425 База данных ИСОН по объектам космического мусора. *Молотов И.Е., Еленин Л.В., Чжан Ч., Юй Ш., Стрельцов А.И., Захваткин М.В., Степаньянц В.А., Сальес Р., Тунгалаг Н., Гребенская О.Н., Буянхичиг Р., Русаков О.П.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 3, с. 174-180. Рус.

26.01-01.426 Об опыте применения программы Tucho Tracker в КубГУ для исследования астероидов, сближающихся с Землей. *Иванов В.А., Иванов А.Л., Курбатов Г.А.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 206-211. Рус.

26.01-01.427 Оценка погрешностей моделей плотности атмосферы ГОСТ Р 25645.166-2004 и NRLMSISE-00. *Юрасов В.С., Трушкова Е.А.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 212-221. Рус.

26.01-01.428 Наблюдения и исследования АСЗ в АФИФ. *Рева И.В., Кругов М.А., Серебрянский А.В., Айманова Г.К., Шестакова Л.И., Щербина М.П.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 222-225. Рус.

26.01-01.429 Искажение изображений движущихся астрономических объектов при съемке на КМОП-матрицах в режиме rolling shutter. *Прохоров М.Е., Захаров А.И., Крусанова Н.Л., Мошкалева В.Г., Тучин М.С.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 226-229. Рус.

26.01-01.430 Интерполяция альбедной зависимости асимметрии отрицательной поляризации астероидов главного пояса. *Петров Д.В., Жужулина Е.А.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 230-233. Рус.

26.01-01.431 Альbedo и размеры АСЗ (1685) Торо, определенные из поляриметрических наблюдений. *Павлов С.Р., Киселев Н.Н., Жужулина Е.А.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 234-237. Рус.

26.01-01.432 Реализация алгоритма стереоскопического зрения для автономных робототехнических систем. *Омельчук А.А., Потапов С.Ю., Рубан Д.В., Усталов Д.С.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 238-243. Рус.

26.01-01.433 Моделирование динамики пылевых частиц в гравитационном и электростатическом поле астероида с учетом сублимации водяного льда. *Кузнецов С.Ю., Бусарев В.В.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 244-248. Рус.

26.01-01.434 Статистический анализ ситуации на геостационарных орбитах. *Жумагулов А.Е., Серебрянский А.В., Рева И.В., Воропаев В.А.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 249-255. Рус.

26.01-01.435 Трехмерная картина изменения элементов орбит астероидов под действием механизма Лидова—Козай. *Виноградова Т.А., Кузнецов В.В.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 256-259. Рус.

26.01-01.436 Безопасность космического движения, управление им и его информационное обеспечение. *Вениаминов С.С., Гололобов И.Л., Поздняков А.Ю., Ремень Б.А., Шалдаев С.Е., Шатов П.В.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 260-266. Рус.

26.01-01.437 Зависимость шкалы радиовеличины от скорости метеоров. *Нарзиев М.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 4, с. 267-271. Рус.

26.01-01.438 Проект многоцелевого компактного УФ-оптического телескопа для лунного посадочного модуля. *Шугаров А.С., Сачков М.Е., Ванг Х., Дзян С.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 273-278. Рус.

26.01-01.439 Построение сетки химических реакций для простых ароматических соединений. *Лойко А.А., Вибе Д.З.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 279-287. Рус.

26.01-01.440 Орбитальные резонансы в динамике окололунных объектов. *Попандопуло Н.А., Бордовичкина Т.В., Томилова И.В.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 288-293. Рус.

26.01-01.441 Новые спектральные наблюдения звезды FK Com. *Пузин В.В., Саванов И.С., Дзян С., Ванг Х., Шугаров А.С., Ванг Дз.* *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 294-297. Рус.

26.01-01.442 Вспышка ET Dra по наблюдениям в Терскольской обсерватории ИНАСАН. *Саванов И.С.,*

Нароенков С.А. *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 298-300. Рус.

26.01-01.443 Активность молодой звезды HIP 67522 с планетной системой из ассоциации Sco-Cen OB. **Саванов И.С., Дмитриенко Е.С.** *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 301-304. Рус.

26.01-01.444 Исследование высокоактивной медленно вращающейся звезды KIC 1868553. **Саванов И.С.** *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 305-309. Рус.

26.01-01.445 Приемник УФ-излучения для системы регистрации данных в составе обсерватории "СПЕКТР-УФ". **Сичевский С.Г., Шмагин В.Е., Сачков М.Е.** *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 310-312. Рус.

26.01-01.446 Вычисление орбит спутникового созвездия системы Doris. **Кузин С.П.** *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 313-318. Рус.

26.01-01.447 Фотометрия избранных объектов, сближающихся с Землей, при помощи программного пакета Tucho Tracker. **Баканас Е.С., Варбанов С.И., Жуйко С.В.** *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 319-325. Рус.

26.01-01.448 Подхват АСЗ с помощью синтетического отслеживания в программе Tucho Tracker. **Скачедуб А.В.** *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 326-336. Рус.

26.01-01.449 Результаты наблюдений избранных астероидов на Терскольской обсерватории. **Галушина Т.Ю., Левкина П.А., Шейн А.В., Баканас Е.С., Летнер О.Н.** *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 337-342. Рус.

26.01-01.450 1.0-м телескоп Симеизской обсерватории ИНАСАН как инструмент для наблюдений комет. **Новичонок А.О., Позаненко А.С., Терешина М.А., Воробьев В.А.** *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 343-349. Рус.

26.01-01.451 Метеорит Villalbeto de la Peña и болидный рой γ -Дельфинид. **Терентьева А.К., Баканас Е.С.** *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 350-351. Рус.

26.01-01.452 Использование площадки Гиссарской астрономической обсерватории в проекте "СПЕКТР-УФ". **Казакевич Ю.В., Карташова А.П., Сачков М.Е.** *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 352-355. Рус.

26.01-01.453 Цефеиды каталога Gaia DR3 и их рентгеновское излучение. **Матрохин А.А., Сачков М.Е., Ковалева Д.А.** *Научные труды Института астрономии РАН.* 2025. 10, № 5, с. 356-359. Рус.

26.01-01.454 Коэффициенты редукции фотометрической системы АЗТ-11. **Гранкин К.Н.** *Известия Крымской астрофизической обсерватории.* 2025. 121, № 3, с. 5-12. Рус.

26.01-01.455 Анализ поля скоростей и излучения в линиях кальция, водорода и магния для эруптивного события на солнечном лимбе. **Купряков Ю.А., Бычков К.В., Малютин В.А., Горшков А.Б., Белова О.М., Барта М.** *Известия Крымской астрофизической обсерватории.* 2025. 121, № 3, с. 13-21. Рус.

26.01-01.456 Федоровские чтения. **Ярцева И.Н., Лекомцева А.А., Копылова В.В., Персонова А.А., Кутюбая Е.А.** *Гелиогеофизические исследования.* 2025, № 46, с. 101-106. Рус.

26.01-01.457 Крымская программа наблюдений звезд с неперiodическими минимумами. Звезды с малой активностью. I. ВН Сер. **Ростопчина-Шаховская А.Н., Шаховской Д.Н.** *Известия Крымской астрофизической обсерватории.* 2025. 121, № 4, с. 5-11. Рус.

26.01-01.458 Необходимость модели ударной волны

для объяснения излучения вспышки 21 апреля 2017 года в линиях кальция и водорода. **Купряков Ю.А., Малютин В.А., Бычков К.В., Горшков А.Б., Белова О.М.** *Известия Крымской астрофизической обсерватории.* 2025. 121, № 4, с. 12-20. Рус.

26.01-01.459 Измерения максимальных магнитных полей солнечных пятен по данным MWO, КраО и HINODE. **Ахтемов З.С., Цап Ю.Т., Шапошников В.Д., Плотников А.А.** *Известия Крымской астрофизической обсерватории.* 2025. 121, № 4, с. 21-26. Рус.

26.01-01.460 Что же такое фотон? Природа квантов излучения и красного космологического смещения. Часть 2. **Кукушкин А.В.** *Прикладная физика и математика.* 2025, № 10, с. 6-27. Рус.

Вторая часть работы, как и первая, носит подготовительный характер. Продолжается анализ следствий, вытекающих из введения в математику и соответственно в математический формализм СТО новой величины: мнимой направленной (векторной) единицы. После этого 4-векторы в пространстве Минковского становятся комплексными (К-векторами). Их алгебраическая природа отличается от природы К-векторов на комплексной плоскости. В первой части статьи было предложено определение для таких К-векторов, а также правила сложения их действительной части с мнимой. По ним получается, что любому такому К-вектору в пространстве Минковского эквивалентен (дуален) либо обычный действительный вектор, либо мнимый вектор, либо нулевой (изотропный). А отсюда следует, что при движении одной инерциальной системы отсчета относительно другой координатные оси первой не испытывают поворотов. Поэтому, а также вследствие релятивистского замедления времени, законы лоренцевой кинематики в комплексном 4D-пространстве оказываются полностью совместимыми с законами галилеевой кинематики в вещественном 3D-пространстве. В статье выводятся преобразования Лоренца для ортов обобщенной криволинейной и ортогональной системы отсчета цилиндрического типа, а также преобразования для не единичных векторов ковариантного базиса этих систем, что понадобится в дальнейшем при моделировании полной волновой функции фотонов. Ключевые слова: величина векторной мнимой единицы, комплексное пространство Минковского, мнимый вектор, комплексный 4-вектор.

26.01-01.461 Что же такое фотон? Природа квантов излучения и красного космологического смещения. Часть 3. **Кукушкин А.В.** *Прикладная физика и математика.* 2025, № 12, с. 18-54. Рус.

В третьей части статьи производится реконструкция волновой функции фотона по релятивистским законам классической физики. В модели предполагается, что ЭМ-поле фотона следует разделить на две части, которые обладают различной природой. Областью существования поля, переносящего основную часть энергии, которое не является полем Максвелла, является пространство в пределах двух тонких и параллельных фотонных лучей. Вокруг них существует внешнее поперечное поле Максвелла. Векторы этих полей согласуются на границе лучей с помощью предположения А. Эйнштейна (1909 г.), что между внешним максвелловским полем и «особыми точками» на плоскости равных фаз в виде поперечных сечений фотонных лучей имеются отношения «поле—источник». Креативность подобной гипотезы проявляется в том, что она позволяет построить модель, в которой основная часть энергии фотона концентрируется на двух лучах в виде конечного пути гармонических волн с частотой ω максвелл-подобного поля. Требование конечности потока энергии внешнего максвелловского поля через бесконечную площадь плоскости равных фаз выполняется при условии, что два указанных пути гармонических волн на лучах колеблются в противофазе. Амплитуда такой волны определяется из условия, что суммарная энергия внешнего и внутреннего полей фотона равна его полной энергии, стоящей в левой части известной формулы. Полученное выражение для амплитуды оказывается в прямой пропорции к ω . Последнее может быть предложено в качестве объяснения красного космологического смещения, так как падение амплитуды волны, связанное с затратами энергии фотона при взаимодействии его внешнего максвелловского поля с заряженными частицами космической среды,

вызовет немедленный сдвиг его частоты в красную сторону. Кроме того, волновая модель фотона согласуется с экспериментами квантовой оптики, показывающими, что он способен перемещаться одновременно по двум разным путям после его частичного отражения и прохождения через наклонное полупрозрачное зеркало. С теоретической точки зрения более предпочтительным является предположение, что, напротив, основная часть энергии переносится внешним максвелловским полем фотона. Приводятся аргументы в пользу этого предположения. Ключевые слова: Максвелл-подобное внутреннее поле фотонов, максвелловское внешнее поле фотона, классическая модель волновой функции фотона, фотонные лучи, траектория свободного фотона, бесстолкновительное взаимодействие фотона с заряженными частицами космической среды, красное космологическое смещение.

26.01-01.462 Метод пересчета модуля магнитной индукции в векторное представление на основе фильтрации. *Бульчев А.А., Кузнецов К.М., Лыгин И.В., Минлигарев В.Т., Коснырева М.В.* Гелиогеофизические исследования. 2024, № 47, с. 64-72. Рус.

26.01-01.463 Изменение со временем FoF2 и HMF2 и индексы солнечной активности. *Данилов А.Д., Константинова А.В., Бербенева Н.А.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 48, с. 4-18. Рус.

26.01-01.464 Усовершенствованный метод определения начала СПС по первому возрастанию потока протонов и интенсивности СПС по рентгеновскому излучению вспышек и времени начала СПС. *Аракелов А.С., Буров В.А., Кондратов А.Д., Очелков Ю.П., Холодков К.И.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 48, с. 19-31. Рус.

26.01-01.465 Эволюция трендов критической частоты слоя E по данным ст. Свердловск (АРТИ). *Данилов А.Д., Константинова А.В., Григорьева С.А.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 48, с. 32-43. Рус.

26.01-01.466 Использование данных сети Радиомографии ионосферы Росгидромета для анализа возмущений в ионосфере, вызванных геомагнитной бурей 10–12 мая 2024 года. *Алматов В.В., Васильев А.Е., Высоцкий А.Г., Репин А.Ю.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 48, с. 44-56. Рус.

26.01-01.467 Аннотированный атлас примеров изображений эмиссий в авроральных структурах, зарегистрированных имаджерами с поверхности Земли и орбит КА. Часть 3. Структуры "BLACK" и "ANTI-BLACK" AURORA и их возможные механизмы генерации. *Кузьмин А.К., Крылова А.А., Мёрзлый А.М., Никифоров О.В., Петрукович А.А., Потанин Ю.Н., Садовский А.М., Янаков А.Т.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 48, с. 57-87. Рус.

26.01-01.468 Магнитосферное распространение радиоволн СВ диапазона. *Калишин А.С., Благовещенская Н.Ф., Борисова Т.Д., Егоров И.М., Степанов Н.А., Мингалеева А.О., Загорский Г.А.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 48, с. 88-103. Рус.

26.01-01.469 Расчет резистивно-нагруженных дипольных антенн. *Смирнов Д.А., Сахтерова Т.В., Сахтеров В.И.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 48, с. 104-111. Рус.

26.01-01.470 Прогнозирование появления спорадического слоя при помощи дерева решений. *Потоцкая Т.А., Донченко Д.В., Киргизов В.В., Колосов М.А.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 48, с. 112-129. Рус.

26.01-01.471 Экспериментальные работы по детальной аэромагниторазведке с БПЛА при решении инженерных задач. *Арутюнян Д.А., Шклярчук А.Д., Брагина А.А., Ивашина Ю.С., Палёнов А.Ю., Аникина Е.Д., Линович В.С., Белов Г.С.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50, с. 4-10. Рус.

26.01-01.472 Гидромагнитные исследования астроблемовидного озера Чёрное (Шатурский район Московской области). *Кузнецов К.М., Рухманова А.П.,*

Лыгин И.В., Панферов С.В. Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50, с. 11-18. Рус.

26.01-01.473 Параметры аномального магнитного поля Земли в окрестности геомагнитной обсерватории "Климовская" по данным многоуровневой магнитной съемки. *Лыгин И.В., Соловьёв А.А., Алёшин И.М.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50, с. 19-30. Рус.

26.01-01.474 Моделирование аномального магнитного поля от толстожильных кабелей и оценка применимости магниторазведки для их обнаружения. *Ивашина Ю.С., Арутюнян Д.А., Брагина А.А., Шклярчук А.Д.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50, с. 31-38. Рус.

26.01-01.475 Высокоточная гравиразведка при поиске подземных сооружений и коллекторов. *Фадеев А.А., Лыгин И.В., Соколова Т.В., Кузнецов К.М., Бульчев А.А.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50, с. 39-49. Рус.

26.01-01.476 Моделирование аномального магнитного поля от опасных техногенных объектов и оценка возможности их обнаружения методами магниторазведки с БПЛА. *Ивашина Ю.С., Арутюнян Д.А., Брагина А.А., Шклярчук А.Д.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50, с. 50-55. Рус.

26.01-01.477 Построение геоэлектрической модели осадочного чехла центральной части главного девонского поля Восточно-Европейской платформы на основе данных МТЗ. *Куликов В.А., Алексанова Е.Д., Аристова А.А., Ионичева А.П., Шагарова Н.М.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50, с. 56-71. Рус.

26.01-01.478 Новые данные о строении и вещественном составе фундамента пролива Великая Салма по данным гидромагнитных съемок 2023–2025 годов. *Морозов А.В., Лыгин И.В.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50, с. 72-82. Рус.

26.01-01.479 Изучение неоднородности тектоносферы западного сектора юго-западного Индийского хребта на основе структурного анализа потенциальных полей. *Коснырева М.В., Боголюбский В.А., Рыжова Д.А., Дубинин Е.П., Бульчев А.А.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50, с. 83-92. Рус.

26.01-01.480 Влияние аномальной составляющей на направление вектора индукции магнитного поля Земли. *Коснырева М.В., Лыгин И.В., Кузнецов К.М., Бульчев А.А.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50, с. 93-100. Рус.

26.01-01.481 Разработка и валидация космического геомагнитного индекса KKOS по данным магнитометра ФМ спутника "Электро-Л" №4. *Шклярчук А.Д., Арутюнян Д.А., Брагина А.А.* Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50, с. 101-109. Рус.

26.01-01.482 Математическое моделирование орбитального движения искусственного спутника Луны с использованием переменных Делоне. *Мешкова О.В., Шатина А.В.* RUSSIAN TECHNOLOGICAL JOURNAL (Предыдущее название: Российский технологический журнал (с 2016 по 2021 гг.), Вестник МГТУ МИРЭА (с 2013 по 2015 гг.)) 2026. 14, № 1, с. 64-81. Рус.

Получены гамильтониан и уравнения движения искусственного спутника Луны (ИСЛ) в канонических переменных Делоне, на основе которых выведены усредненная и неусредненная системы уравнений движения ИСЛ в виде автономных систем обыкновенных дифференциальных уравнений относительно следующих параметров орбиты: большой полуоси, эксцентриситета, наклона, долготы восходящего узла, долготы перигентра от восходящего узла, истинных аномалий. Построены интегральные кривые и фазовые портреты, демонстрирующие взаимосвязь параметров орбиты.

26.01-01.483 Алгоритм идентификации звездных конфигураций на основе взаимных угловых расстояний и блеска звезд. *Слатова Е.В., Балухев С.Ю., Салычев А.В., Старков А.В.* Авиакосмическое приборостро-

ение. 2025, № 10, с. 21-30. Рус.

Рассматривается задача идентификации звездных конфигураций для бортовых оптикоэлектронных приборов ориентации и навигации космических аппаратов (КА) по звездам. Для решения задачи идентификации звездных конфигураций использован способ взаимных угловых расстояний между звездами. Реализована методика и алгоритм идентификации звездных конфигураций на основе взаимных угловых расстояний и блеска звезд. Получены статистические данные по идентификации звездных конфигураций, на основе которых можно обосновать требования к точности угломерных измерений отметок точечных источников излучения для бортовых оптико-электронных приборов специального назначения, приборов ориентации и навигации космических аппаратов по звездам. Ключевые слова: бортовые оптико-электронные средства, космический аппарат, звездный датчик, точность измерений координат звезд, ориентация космических аппаратов.

26.01-01.484 Графовый метод обучения для совместного планирования миссий активного удаления космического мусора. *Даньдань Су, Неусыпин К.А., Цзямань Ма. Авиакосмическое приборостроение.* 2026, № 2, с. 13-24. Рус.

Возрастающая засорённость низкой околоземной орбиты (НОО) создаёт существенные риски для безопасной космической деятельности и эффективности действующих миссий. Координация многоаппаратного активного удаления мусора осложняется пространственно-временной неопределённостью траекторий и окон захвата, затрудняющей построение физически реализуемых и оптимальных графов задач, и комбинаторной сложностью совместного назначения задач и маршрутизации при росте числа обломков. Для преодоления этих ограничений предлагается STAR-Граф — пространственно-временная структура назначения на основе графа достижимости с учётом неопределённости. Сначала строится динамический граф достижимости, где парная выполнимость между целями извлекается через контрастное самообучение на орбитальном распространении и временных окнах. Затем применяется дифференцируемая глубокая мягкая кластеризация для формирования планируемых групп задач с учётом временной доступности и пространственной близости. Наконец, планировщик на основе адаптивного поиска по большой окрестности (АПБО), управляемый кластерами совместно оптимизирует назначение и маршруты, повышая вероятность успешного выполнения и снижая суммарные манёвренные затраты (ΔV). Эксперименты на реальных и моделируемых орбитальных сценариях показывают преимущество STAR-Графа над базовыми эвристическими и оптимизационными методами по топливной эффективности, полноте выполнения и устойчивости. Ключевые слова: космический аппарат, космический мусор, STAR-граф, эффективность миссии.

26.01-01.485 Космическая пыль в атмосфере Земли как экологический фактор. *Бодрова И.В., Жабин В.С., Муртазов А.К. Экологические системы и приборы.* 2025, № 11, с. 3-12. Рус.

Рассмотрены процессы в атмосфере Земли с участием космической пыли, позволяющие считать ее экологическим фактором. Представлены оценки плотности потока космической пыли на Землю, полученные различными методами. Разброс их значений достаточно велик: от 0,1 до 60 тысяч тонн в год. Ключевые слова: космическая пыль, метеороиды, атмосфера, экология.

26.01-01.486 Сравнение морфологии поверхности дна околополярных лунных кратеров и кратеров, находящихся на средних широтах Луны. *Вазилевский А.Т., Красильников А.С., Юань Ли., Майкл Г.Г. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 5, с. 417-440. Рус.

26.01-01.487 Органическое вещество в структуре Титана: модели внутреннего строения. *Дунаева А.Н., Кронрод В.А., Кусков О.Л. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 5, с. 441-472. Рус.

26.01-01.488 Создание аналога лунного грунта для эксперимента по спеканию. *Аганжин И.А., Сорокин Е.М., Матвеев Е.В. Астрономический вестник.* 2025.

59, № 5, с. 473-488. Рус.

26.01-01.489 Оценка эффективности потери первичной атмосферы за счет теплового потока от ядра для мини-нептуна (Океаниды) HD 207496B. *Евдокимов Р.А., Шематович В.И. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 5, с. 489-503. Рус.

26.01-01.490 Результаты поляриметрического мониторинга астероидов, сближающихся с Землей, на 2.6-м телескопе КРАО и 2-м телескопе обсерватории Пик Терскол. *Щербина М.П., Киселев Н.Н., Карпов Н.В., Жужулина Е.А. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 5, с. 504-511. Рус.

26.01-01.491 Поток дифференцированных метеоритов на Землю. *Лоренц К.А., Абдрагимов А.М., Садиленко Д.А. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 5, с. 512-541. Рус.

26.01-01.492 Вариации $F_{10.7}$ по новым датам максимумов метеорных потоков. *Тертышников А.В. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 5, с. 542-548. Рус.

26.01-01.493 Потенциально первичные компоненты ксенона в обогащенных наноалмазом фракциях метеоритов: особенности выделенных компонентов при окислении. *Фисенко А.В., Семенова Л.Ф., Павлова Т.А. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 5, с. 549-556. Рус.

26.01-01.494 Точность оценивания вероятности столкновения астероида с Землей на основе линейного стохастического моделирования параметрической неопределенности. *Авдюшев В.А., Сюсина О.М., Тамаров В.А. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 5, с. 557-565. Рус.

26.01-01.495 Определение предварительной орбиты в компланарном случае. *Кузнецов В.В. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 5, с. 566-570. Рус.

26.01-01.496 Пространственно-генетические соотношения вулканических корон и крупных вулканов Венеры. *Гусева Е.Н., Иванов М.А. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6, с. 573-587. Рус.

26.01-01.497 Оценка воздействия "метеорных взрывов" на поверхность Венеры. *Шувалов В.В., Иванов В.А. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6, с. 588-598. Рус.

26.01-01.498 Фотохимическое равновесие и уравнение баланса озона в слое ночного гидроксидов на Марсе. *Шапошников Д.С., Родин А.В. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6, с. 599-610. Рус.

26.01-01.499 Негидростатические напряжения недр марса без учета длинноволновой компоненты. *Батов А.В., Гудкова Т.В. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6, с. 611-620. Рус.

26.01-01.500 Геологическое строение верхней части Долины Nirgal, Марс. *Чоловская Е.С., Иванов М.А. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6, с. 621-630. Рус.

26.01-01.501 Определение физических масс экзопланет, наблюдаемых методом измерения лучевых скоростей: обзор методов и решений, результаты и новые вопросы по опубликованным данным. *Демин А.Г., Ананьева В.И., Таверов А.В. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6, с. 631-645. Рус.

26.01-01.502 Модели яркости звездного неба и эффективность поиска экзопланет методом микролинзирования. *Ипатов С.И. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6, с. 646-658. Рус.

26.01-01.503 Спектры экзопланет, похожих на Землю, с различными периодами осевых вращений. *Ипатов С.И., Cho J.Y.K. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6, с. 659-670. Рус.

26.01-01.504 Построение начальной доверительной области вдали от интервала наблюдаемости и оценивание вероятности столкновения астероидов с Землей. *Батурич А.П. Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6,

с. 671-680. Рус.

26.01-01.505 Низкоэнергетические транзитные траектории в окрестности точек либрации. *Иванюгин А.В.* *Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6, с. 681-697. Рус.

26.01-01.506 Турбулентная микрополярная жидкость как сплошная среда с внутренней вихревой структурой. *Колесниченко А.В.* *Астрономический вестник.* 2025. 59, № 6, с. 710-722. Рус.

26.01-01.507 Модернизация пятого атмосферного черенковского телескопа. *Шайковский А.В., Бородин А.Н., Журов Д.П.* *Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 969-975. Рус.

В УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» в Тункинской долине (Республика Бурятия) в составе эксперимента TAIGA с весны 2022 г. работают три атмосферных черенковских гамма-телескопа (АЧТ), четвертый телескоп готовится к вводу в эксплуатацию. Такие телескопы являются основными инструментами наземной гамма-астрономии высоких энергий, позволяющими отделять события гамма-квантов от событий заряженных частиц космических лучей. Имеющиеся четыре телескопа реализованы на базе конструкции телескопов HEGRA, разработка которых велась в 1980-х гг., и на данный момент являются морально устаревшими с точки зрения конструкторских решений. Представлен обзор проведенной технической модернизации пятого черенковского телескопа. Показана возможность замены определенных узлов телескопа готовыми изделиями, производимыми серийно, с заданными показателями качества, гарантийными и назначенными ресурсами и сроками службы. Также описаны введенные изменения не только для механической части телескопа, но и для его подсистем, в частности системы обогрева зеркал и светозащитных бленд.

26.01-01.508 Комплексная ливневая установка «Ковер-3» Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН. Исследования в области гамма-астрономии. *Петков В.Б., Вайман И.А., Васильев Н.А., Горбачева Е.А., Джампуев Д.Д., Джатдоев Т.А., Дзапарова И.М., Журавлева К.В., Карпиков И.С., Клименко Н.Ф., Куджаев А.У., Куреня А.Н., Лидванский А.С., Михайлова О.И., Подлесный Е.И., Позднухов Н.А., Романенко В.С., Рубцов Г.И., Троицкий С.В., Унатлов И.В., Хаджиев М.М., Янин А.Ф.* *Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 976-985. Рус.

В настоящее время в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН создается комплексная ливневая установка «Ковер-3», расположенная на высоте 1700 м над уровнем моря и предназначенная для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) космических лучей в диапазоне первичных энергий от 10 ТэВ до 10 ПэВ. Наличие в составе установки подземного мюонного детектора общей площадью 410 м² позволяет с высокой эффективностью отделять ливни, рожденные первичными гамма-квантами сверхвысоких энергий, от обычных ШАЛ, образованных первичными протонами и ядрами. Одной из основных задач установки является измерение характеристик высокоэнергетического гамма-излучения космического происхождения. Представлены описание и характеристики установки, а также результаты исследований в области гамма-астрономии.

26.01-01.509 Скрытая масса с особым пространственным распределением как возможное объяснение позитронной аномалии в космических лучах. *Белоцкий К.М., Соловьев М.Л.* *Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 986-994. Рус.

Одним из популярных объяснений позитронной аномалии в космических лучах являются модели распадающихся или аннигилирующих частиц скрытой массы (СМ, также известной как темная материя), имеющих протяженное пространственное распределение. Серьезным недостатком таких моделей является перепроизводство сопутствующего гамма-излучения, входящего в противоречие с данными по космическому гамма-фону. Рассматривается возможность его подавления за счет предположения об особом пространственном распределении скрытой массы, приведены первые оценки в случае распределения СМ в виде рукавов (спиралей) в сравнении с ранее рассмотренными

распределениями.

26.01-01.510 Гибридный комплекс TAIGA-1: от физики космических лучей к гамма-астрономии. *Буднев Н.М., Астапов И.И., Безъязыков П.А., Блинов А.В., Бонвеч Е.А., Бородин А.Н., Булан А.В., Волков Н.В., Волчугов П.А., Воронин Д.М., Гафаров А.Р., Гармаш А.Ю., Гребенюк В.М., Гресь О.А., Гресь Т.И., Гресь Е.О., Гринюк А.А., Гришин О.Г., Дячок А.Н., Журов Д.П., Загородников А.В., Зиракашвили В.Н., Иванова А.Д., Иванова А.Л., Илюшин М.А., Калмыков Н.Н., Киндин В.В., Кирюжин С.Н., Кожин В.А., Кокорулин Р.П., Компаниец К.Г., Коростелева Е.Е., Кравченко Е.А., Крюков А.П., Кузьмичев Л.А., Къявасса А., Лаврова М.В., Лагутин А.А., Лемешев Ю.Е., Лубсандоржиев Б.К., Лубсандоржиев Н.Б., Луканов А.Д., Малазов С.Д., Миргазов Р.Р., Монгоев Р.Д., Окунева Э.А., Осипова Э.А., Пан А., Панов А.Д., Паньков Л.В., Пазоружов А.Л., Петрухин А.А., Подгрудков Д.А., Поддубный И.А., Попова Е.Г., Постников Е.Б., Просин В.В., Пушин А.А., Разумов А.Ю., Райкин Р.И., Рубцов Г.И., Рябов Е.В., Сатышев И., Самолига В.С., Свешникова Л.Г., Сидоренков А.Ю., Силаев А.А., Силаев А.А. (мл.), Скуригин А.В., Соколов А.В., Таболенко В.А., Танаев А.В., Терновой М.Ю., Ткачев Л.Г., Ушаков Н.А., Чернов Д.В., Шайковский А.В., Яшин И.И.* *Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 995-1007. Рус.

Представлены преимущества и возможности гибридного комплекса установок TAIGA-1 для исследования потоков космических лучей с энергиями 0,1–1000 ПэВ и гамма-квантов с энергиями от 3 ТэВ до нескольких сотен ТэВ. Уже получены результаты исследований, намечены планы по дальнейшему развитию комплекса TAIGA.

26.01-01.511 Тени черных дыр в моделях Хорндески и Бамблби: учет вращения. *Алексеев С.О., Байдерин А.А., Зенин О.И.* *Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 1008-1017. Рус.

С помощью алгоритма Ньюмена—Яниса получены вращающиеся версии решения вида «черная дыра» для моделей Хорндески и Бамблби. В результате математического моделирования профилей теней черных дыр для случая дву хнаиболее вероятных конфигураций Sgr A* показано, что модель Хорндески ослабляет эффект вращения (аналогично гравитации с нелокальными членами), а модель Бамблби, напротив, усиливает это вращение.

26.01-01.512 Первичные черные дыры, темная материя и антиматерия. *Долгов А.Д.* *Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 1018-1030. Рус.

Приведен обзор данных наблюдений космических телескопов Хаббла, Джеймса Уэбба и установки ALMA. Утверждается, что обнаруженное противоречие наблюдательных данных с канонической Λ CDM-космологией снимается, если формирование структуры Вселенной инициируется зародышами в форме первичных черных дыр. В пользу предполагаемого сценария говорят согласие с наблюдениями предсказанного логнормального спектра масс первичных черных дыр и обнаружение значительного количества антивещества в нашей Галактике.

26.01-01.513 Формирование солитонной пены в ранней Вселенной. *Мурыгин Б.С., Никулин В.В., Кириллов А.А.* *Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 1031-1041. Рус.

Рассмотрено образование составных солитонов в ранней Вселенной. Показано, что при реалистичных начальных условиях, возникающих на инфляционной стадии, эволюция поля приводит к образованию «солитонной пены», состоящей из замкнутых доменных стенок, доменных стенок, ограниченных струнами, и излучения скалярного поля. В результате эволюции «солитонной пены» излучается большое количество частиц скалярного поля, которые могут быть интерпретированы как WIMP, составляющие часть скрытой массы Вселенной.

26.01-01.514 Модифицированный бариогенезис и

космические лучи сверхвысоких энергий. *Арбузова Е.В. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 1042-1055. Рус.

Рассматривается сценарий гравитационного бариогенезиса, модифицированный добавлением R^2 -члена в действие модели. Эта модификация позволяет устранить космологическую неустойчивость, присущую канонической версии гравитационного бариосинтеза. В рассматриваемой модели экспоненциальный рост кривизны переходит в высокочастотные колебания, которые, в свою очередь, приводят к образованию сверхтяжелых частиц темной материи. Медленный распад этих частиц через виртуальные черные дыры может давать вклад в поток космических лучей сверхвысоких энергий.

26.01-01.515 Калибровка "квантовой чувствительности" телескопов установки TAIGA-IACT. *Волчугов П.А., Астапов И.И., Безвьязиков П.А., Блинов А.В., Бородин А.Н., Бонвеч Е.А., Буднев Н.М., Булан А.В., Волков Н.В., Воронин Д.М., Гафаров А.Р., Гресь Е.О., Гресь О.А., Гресь Т.И., Гришин О.Г., Гармаш А.Ю., Гребенюк В.М., Гринюк А.А., Дячок А.Н., Журов Д.П., Загородников А.В., Зиракашвили В.Н., Иванова А.Л., Иванова А.Д., Илюшин М.А., Калмыков Н.Н., Киндин В.В., Кирюхин С.Н., Кокоулин Р.П., Колосов Н.И., Компаниец К.Г., Коростелева Е.Е., Кожин В.А., Кравченко Е.А., Крюков А.П., Кузьмичев Л.А., Къявасса А., Лаврова М.В., Лагутин А.А., Лемешев Ю.Е., Лубсандоржиев В.К., Лубсандоржиев Н.Б., Луканов А.Д., Малахов С.Д., Миргазов Р.Р., Монжоев Р.Д., Окунева Э.А., Осипова Э.А., Пахорук А.Л., Пан А., Панов А.Д., Паньков Л.В., Петрухин А.А., Подгрудков Д.А., Поддубный И.А., Попова Е.Г., Постников Е.Б., Просин В.В., Пушкин А.А., Разумов А.Ю., Райкин Р.И., Рубцов Г.И., Рябов Е.В., Самолига В.С., Сатышев И., Свешишкова Л.Г., Силаев А.А., Силаев А.А. (мл.), Сидоренков А.Ю., Скурихин А.В., Соколов А.В., Таболенко В.А., Таняев А.Б., Терновой М.Ю., Ткачев Л.Г., Ушаков Н.А., Чернов Д.В., Шайковский А.В., Яшин И.И. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 1062-1068. Рус.

Интегральная «квантовая чувствительность» атмосферных черенковских телескопов (АЧТ) является важной характеристикой детектора, используемой при реконструкции параметров регистрируемых событий. Астрофизический комплекс TAIGA включает в свой состав установки TAIGA-IACT — массив из трех АЧТ TAIGA-HiSCORE — 120 широкоугольных черенковских детекторов на площади 1 км^2 . Комплекс нацелен на решение актуальных задач гамма-астрономии очень высоких энергий. Установка TAIGA-HiSCORE позволяет проводить восстановление функции пространственного распределения (ФПР) черенковских фотонов широкого атмосферного ливня (ШАЛ). Эта информация позволяет определять число черенковских фотонов, достигающих отражателей АЧТ, и, в конечном счете, определять эффективность их регистрации. В работе описан данный подход к калибровке интегральной «квантовой чувствительности» установки TAIGA-IACT.

26.01-01.516 Гибридные вакуумные детекторы фотонов в экспериментах астрофизики частиц. *Лубсандоржиев В.К. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 1108-1118. Рус.

Дается обзор гибридных вакуумных детекторов фотонов, разработанных для широкомасштабных экспериментов в астрофизике частиц. Особо важную роль гибридные детекторы фотонов с люминесцентными экранами сыграли в черенковских детекторах — в глубоководном нейтринном телескопе NT-200 и в эксперименте по исследованию космических лучей «Тунка». Статья посвящена 40-летию начала разработки гибридного детектора фотонов КВАЗАР-370, ставшего сердцем экспериментов NT-200 и «Тунка». Гибридные вакуумные детекторы фотонов с микроканальными пластинами (MCP-PMTs) активно применяются в нейтринном эксперименте JUNO. Представлено современное состояние разработок гибридных детекторов фотонов, а также обсуждаются современные тенденции дальнейшего развития и перспективы их использования в эксперимен-

тах следующего поколения.

26.01-01.517 Влияние диаметра зеркала и размера пикселя камеры черенковского гамма-телескопа на режекцию адронного фона. *Постников Е.Б., Бонвеч Е.А., Булан А.В., Чернов Д.В., Калмыков Н.Н., Коростелева Е.Е., Кожин В.А., Крюков А.П., Кузьмичев Л.А., Лубсандоржиев Н.Б., Окунева Э.А., Осипова Э.А., Панов А.Д., Подгрудков Д.А., Попова Е.Г., Просин В.В., Разумов А.Ю., Своаешик Л.Г., Силаев А.А., Силаев А.А. (мл.), Скурихин А.В., Волчугов П.А., Астапов И.И., Киндин В.В., Кирюхин С.Н., Кокоулин Р.П., Компаниец К.Г., Петрухин А.А., Яшин И.И., Безвьязиков П.А., Буднев Н.М., Гафаров А.Р., Гресь О.А., Гресь Т.И., Гресь Е.О., Гришин О.Г., Дячок А.Н., Иванова А.Л., Илюшин М.А., Колосов Н.И., Лемешев Ю.Е., Малахов С.Д., Миргазов Р.Р., Монжоев Р.Д., Паньков Л.В., Пахорук А.Л., Поддубный И.А., Пушкин А.А., Рябов Е.В., Самолига В.С., Таболенко В.А., Таняев А.Б., Терновой М.Ю., Загородников А.В., Журов Д.П., Блинов А.В., Бородин А.Н., Гребенюк В.М., Гринюк А.А., Лаврова М.В., Шайковский А.В., Гармаш А.Ю., Кравченко Е.А., Соколов А.В., Иванова А.Д., Къявасса А., Волков Н.В., Лагутин А.А., Райкин Р.И., Воронин Д.М., Лубсандоржиев В.К., Луканов А.Д., Рубцов Г.И., Сидоренков А.Ю., Ушаков Н.А., Ткачев Л.Г., Зиракашвили В.Н. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 3, с. 1136-1142. Рус.

Астрофизический эксперимент TAIGA-10 (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma-ray Astronomy) планируется расширить новыми телескопами с улучшенными параметрами: меньшим размером пикселя камеры либо большим диаметром зеркала. Было проведено моделирование новых и уже установленных телескопов и количественно оценено ожидаемое улучшение режекции адронного фона при переходе к меньшим размерам пикселя и большему диаметру зеркала.

26.01-01.518 Ограничения на нестандартные космологические модели по данным Planck. *Хоернуса И., Алимаси А., Фангю Лю. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 4, с. 1782. Рус.

Рассматривается реликтовая плотность темной материи в нестандартных космологических сценариях, которые включают в себя модели кинации, космологию мира на бране и Вселенную с доминированием сдвига. Затем используются данные Планка для поиска ограничений на пространства параметров, таких как сечения темной материи и пятимерная масса Планка для космологии на бране, фактор усиления для модели кинации и обратномасштабированная температура сдвига для Вселенной с доминированием сдвига.

26.01-01.519 Численное моделирование термодинамических параметров вещества горячей нейтронной звезды в режиме удержания нейтрино. *Алавердян Г.Б., Аджян Г.С., Алавердян А.Г. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 6, с. 1925. Рус.

Исследуются термодинамические свойства горячей β -равновесной адронной материи, которая состоит из нейтронов, протонов, электронов, электронных нейтрино, мюонов и мюонных нейтрино. Для описания такой материи используется усовершенствованная версия теории релятивистского среднего поля при конечной температуре, где помимо эффективных полей σ -, ω - и ρ -мезонов также учитывается изовекторное, лоренц-скалярное эффективное поле δ -мезона.

26.01-01.520 Взаимосвязь структурной характеристики показателя преломления оптических волн в приземном слое атмосферы с метеорологическими параметрами. *Одинцов С.Л., Гладких В.А., Камардин А.П., Невзорова И.В. Оптика атмосферы и океана.* 2025. 38, № 8, с. 647-651. Рус.

При изучении распространения оптического излучения в атмосфере важным фактором является учет его возможных искажений за счет турбулентности полей температуры и ветра. Рассмотрена зависимость структурной характеристики показателя преломления оптических волн в приземном слое атмо-

сферы от градиентов температуры и скорости ветра, а также от турбулентных потоков тепла и скорости трения (динамической скорости). Использовались экспериментальные данные, полученные в 2024 г. на Базовом экспериментальном комплексе Института оптики атмосферы СО РАН (г. Томск) с помощью ультразвукового анемометра-термометра (ультразвуковой метеостанции) и метеорологического температурного профилера. Выделены определенные закономерности во взаимосвязях структурной характеристики с рассмотренными метеорологическими параметрами. Отмечена возможность реализации «больших» значений структурной характеристики в условиях температурных инверсий. Полученные результаты могут быть полезны при решении задач оптики атмосферы, включая распространение лазерного излучения.

26.01-01.521 Особенности наблюдения малоразмерных космических объектов наземными оптическими телескопами с использованием лазерных опорных звезд. *Клеймёнов В.В., Новикова Е.В. Оптика атмосферы и океана.* 2025. 38, № 12, с. 1049-1053. Рус.

Основная проблема при наблюдении малоразмерных (малозаметных) космических объектов наземными оптическими телескопами связана с влиянием атмосферы при прохождении через нее излучения от таких объектов. В работе рассмотрены особенности наблюдения при длинной экспозиции малоразмерных космических объектов путем регистрации короткоэкспозиционных изображений лазерной опорной звезды и последующего их суммирования в фокальной плоскости телескопа. На основе корреляционного анализа исследована связь между случайными смещениями изображения наблюдаемой лазерной опорной звезды и прогнозируемым положением малоразмерного космического объекта. Показано, что достаточным условием нахождения их взаимного положения является отношение модулей энергетических центров тяжести изображений как двух коррелированных гауссовых случайных величин, которое имеет распределение плотности вероятности Коши. Приведены результаты расчетов для моностатической и бистатической схем формирования лазерной опорной звезды.

26.01-01.522 Оценка содержания водяного пара над Саянской солнечной обсерваторией и пиком Хулугайша с применением модели WRF. *Шиховцев М.Ю., Шиховцев А.Ю., Лаженин А.А., Градов В.С., Хайкин В.Б., Кириченко К.Е., Ковadlo П.Г. Оптика атмосферы и океана.* 2026. 39, № 1, с. 66-72. Рус.

Водяной пар является основным газом, обуславливающим непрозрачность атмосферы в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн. В настоящем исследовании продемонстрирована возможность применения мезомасштабной модели Weather Research and Forecasting (WRF) для эффективной оценки содержания осаждаемого водяного пара (PWV) с целью определения условий в существующих местах расположения обсерваторий и нахождения перспективных площадок для размещения нового крупного миллиметрового телескопа. Полученные результаты показывают, что модель WRF успешно воспроизводит пространственно-временную изменчивость PWV, выявляя зоны с минимальным содержанием влаги, что может быть использовано для планирования наблюдений на телескопах.

26.01-01.523 О перенормировке приближённого решения уравнений ориентации орбитальной системы координат. *Панкратов И.А. Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика.* 2024. 24, № 3, с. 415-422. Рус.

В кватернионной постановке рассмотрена задача математического моделирования движения космического аппарата (КА) по эллиптической орбите. Управлением является ограниченный по модулю вектор ускорения от реактивной тяги, направленный ортогонально плоскости орбиты КА. Движение центра масс КА описано с помощью кватернионного дифференциального уравнения ориентации орбитальной системы координат. Построено приближённое аналитическое решение кватернионного дифференциального уравнения ориентации орбитальной системы координат в виде равномерно пригодного асимптотического разложения по степеням эксцентриситета орбиты КА

(малого параметра). Для устранения вековых слагаемых в этом разложении был применён метод перенормировки. Учёт известного решения уравнения ориентации орбитальной системы координат для случая, когда орбита КА является круговой, позволяет упростить вид вышеуказанного разложения. Найдены нелинейные частоты колебаний каждой из компонент искомого кватерниона. Аналитические преобразования были выполнены с помощью пакета символьной алгебры SymPy. Для проведения численного моделирования движения КА была составлена программа на языке Python. Проведено сравнение расчётов по аналитическим формулам, полученным в работе (при отсутствии вековых слагаемых), и ранее полученных результатов при наличии вековых слагаемых. Приведён пример моделирования управляемого движения КА для случая, когда начальная ориентация орбитальной системы координат соответствует ориентации орбиты одного из спутников орбитальной группировки ГЛОНАСС. Построены графики изменения погрешности определения модуля и компонент кватерниона ориентации орбитальной системы координат. Показано, что устранение вековых слагаемых с помощью метода перенормировки позволило уменьшить ошибку определения указанного модуля при увеличении количества оборотов КА вокруг Земли. Проведён анализ полученного приближённого аналитического решения. Установлены особенности и закономерности процесса движения КА по эллиптической орбите.

26.01-01.524 О частоте сближений рассеянных звездных скоплений. *Гриненко А.Д., Ковалева Д.А. Астрономический журнал.* 2025. 102, № 10, с. 832-861. Рус.

Вероятные прошлые и будущие попарные сближения рассеянных скоплений с известными характеристиками на протяжении 64 млн лет рассчитаны путем интегрирования орбит центров скоплений в Галактическом потенциале с пакетом galpy. Показано, что в Галактической окрестности Солнца попарные сближения скоплений на расстояния, сопоставимые с их размерами и меньшие их, происходят с характерной частотой 35–40 событий за 1 млн лет. Сближения рассеянных скоплений со значимой разницей в возрасте происходят с частотой 15 событий в 1 млн лет. Можно ожидать, что в Галактике таких событий происходит на порядок больше в единицу времени. Таким образом, динамическое взаимодействие разновозрастных ансамблей звезд может быть не слишком редким событием, и способно влиять на характеристики звездного населения. Обнаружена пара скоплений близкого возраста — скопления HSC 1428 и Gulliver 22, представляющие собой вероятную физически двойную систему скоплений. Приведен прогноз ожидаемых тесных сближений на 32 млн лет вперед для 490 пар скоплений. 29 пар скоплений находятся в максимальном сближении в настоящее время. Статья частично основана на докладе, представленном на конференции "Современная звездная астрономия — 2024".

26.01-01.525 Звездный ветер компонентов разделенных двойных систем. *Тутуков А.В., Соболев А.В. Астрономический журнал.* 2025. 102, № 10, с. 862-899. Рус.

Работа посвящена рассмотрению роли звездного ветра донора в обмене веществом между компонентами разделенных двойных систем. Предложена классификация тесных двойных систем с взаимодействующими компонентами. Приведен список потенциальных доноров и аккректоров таких систем, включающий рентгеновские двойные и симбиотические звезды. Выполнены аналитические оценки условий и эффективности взаимодействия посредством звездного ветра, найден критерий поддержания самоиндуцированного звездного ветра в рентгеновских двойных, условие образования аккреционного диска при аккреции вещества звездного ветра компактным аккректором. Для пяти начальных скоростей звездного ветра построены трехмерные газодинамические модели взаимодействия компонентов на примере систем типа Sco X-1. Результаты моделирования проиллюстрированы картинами линий тока, распределения температур и плотностей газа ветра в орбитальной и фронтальной плоскостях. Модельная фокусировка потока ветра донора аккректором подтверждается наблюдаемой фазовой рентгеновской кривой блеска Vela X-1.

26.01-01.526 Причины замедленного апсидального вращения массивной затменной звезды V1141 Cas. *Волкова А.С., Волков И.М., Нароенков С.А. Астрономиче-*

ский журнал. 2025. 102, № 10, с. 900-916. Рус.

DOI: 10.7868/S3034518925100038.

26.01-01.527 Моделирование горячего юпитера НАТ-R-32 b и транзитных поглощений в линиях возбужденных атомов водорода и гелия. Шарипов С.С., Шайхисламов И.Ф., Мирошниченко И.Б., Руменских М.С., Шепелин А.В., Голубовский М.П. *Астрономический журнал*. 2025. 102, № 10, с. 917-931. Рус.

Представлены результаты моделирования поглощения в линии водорода $H\alpha$ 6563 Å и гелия 10830 Å для горячего юпитера НАТ-R-32 b. Моделирование проводилось трехмерным гидродинамическим кодом совместно с Монте-Карло моделью переноса L_{α} фотонов. Рассматривался широкий диапазон параметров излучения звезды и параметров атмосферы. Было установлено, что измеренное спектрально разрешенное транзитное поглощение в обеих линиях можно хорошо описать модельными расчетами при ограничении излучения звезды в XUV диапазоне на уровне 200 эрг/см²/с на 1 а. е., содержании гелия в атмосфере планеты $He/H=2/98$ и металличности $[Fe/H]=-1$. Показано, что поглощение в линии гелия происходит равномерно в большом объеме истекающей атмосферы, а в линии водорода — в слое 1.5–2.75 радиуса планеты.

26.01-01.528 О детектировании коротящихся областей взаимодействия потоков солнечного ветра по данным мониторинга межпланетных мерцаний. Лужманов В.Р., Чашей И.В., Тюльбашев С.А., Субаев И.А. *Астрономический журнал*. 2025. 102, № 10, с. 932-939. Рус.

Предложена модель коротящейся области взаимодействия (CIR — Corotating Interaction Region) разнородных потоков солнечного ветра, включающая область с пониженным уровнем мелкомасштабной турбулентности перед сжатой частью. Рассматриваемая модель является развитием ранее предложенной модели ведущей части области взаимодействия. В рамках модели рассчитаны динамические двумерные карты распределения уровня межпланетных мерцаний, адаптированные к наблюдениям на радиотелескопе БСА ФИАН. В качестве примера рассмотрено событие, связанное с магнитной бурей 16–17 апреля 2024 г. Проведено сравнение модельных расчетов с данными наблюдений, которое подтвердило сделанное ранее предположение о том, что ослабление мерцаний в ночное время перед приходом возмущения на Землю связано с областью пониженного уровня мелкомасштабной турбулентности. В целом модельные расчеты на качественном уровне хорошо согласуются с наблюдательными данными.

26.01-01.529 Двупланетная задача с произвольным наклоном пары орбит. Вековая эволюция экзосистемы Kepler-117. Кондратьев Б.П., Корноухов В.С. *Астрономический журнал*. 2025. 102, № 10, с. 940-949. Рус.

Новым методом исследуется актуальный вариант двупланетной задачи о вековой эволюции планетных орбит с малыми эксцентриситетами и взаимным наклоном, имеющих произвольную ориентацию относительно главной (картинной) плоскости. Разработана модель, описывающая широкий класс экзопланетных систем с углом наклона орбит отличным от $\pi/2$. Орбиты планет моделируются кольцами Гаусса, возмущающая функция представлена взаимной гравитационной энергией этих колец в виде ряда до членов второго порядка малости. Для описания эволюции орбит вместо оккулирующих кеплеровских элементов вводится новый набор переменных: единичный вектор R нормали к плоскости кольца и две переменные Пуанкаре (p, q) . Для восьми независимых переменных получена и в аналитическом виде решена система дифференциальных уравнений. Метод применяется для изучения вековой эволюции двупланетной системы Kepler-117 (KOI-209) с нерезонансными орбитами экзопланет. Установлено, что в этой системе колебания одноименных компонентов вектора ориентации для каждой из орбит, а также величин (e_i, i, Ω) происходят строго в противофазе. Эксцентриситеты обеих орбит колеблются с периодом $T_k=182.3$ лет, а наклоны и долготы восходящих узлов изменяются в режиме либрации с одинаковым периодом $T_g=174.5$ лет. Линии апсид неравномерно вращаются против часовой стрелки с периодами векового оборота $T_{g2}=178.3$ лет (у легкой планеты) и $T_{g1}=8140$ лет (у более массивной планеты).

26.01-01.530 Локальный интеграл второй степени для вращающихся систем. Часть II. Шамшиев Ф.Т. *Астрономический журнал*. 2025. 102, № 10, с. 950-960. Рус.

Продолжено исследование существования квадратичного локального интеграла в стационарных двумерных потенциальных полях, начатое в первой части работы. Предложены новые математические зависимости, которые углубляют понимание структуры функций, описывающих поведение потенциальных полей при произвольном распределении массы. Рассмотрено использование поворота системы координат для упрощения уравнений и выделения ключевых особенностей функциональных зависимостей. Особое внимание уделено произвольным функциям, определяющим потенциал и его производные в рамках определенных условий. Анализируются их свойства и возможные решения. Кроме того, исследованы линейные дифференциальные уравнения с полиномиальными и периодическими решениями. В результате работы сформулированы теоретические результаты, которые могут быть использованы для дальнейшего анализа квадратичных интегралов и для уточнения различий между полиномами и другими типами функций в более широких математических моделях. Статья частично основана на докладе, представленном на конференции «Современная звездная астрономия — 2024».

26.01-01.531 Регистрация всплесков гравитационного и нейтринного фона подземными детекторами. Руденко В.Н., Гаврилюк Ю.М., Гусев А.В., Орешкин С.И., Попов С.М., Качинин Н.Л., Луговой А.А. *Астрономический журнал*. 2025. 102, № 11, с. 963-974. Рус.

Рассматривается задача регистрации коллагирующихся звезд в Галактике с помощью двух инструментов: оптоакустического гравитационного детектора ОГРAN и нейтринного телескопа БПСТ, расположенных в подземных лабораториях БНО ИЯИ РАН. Представлен алгоритм совместной обработки данных по опыту регистрации события SN1987A. Предлагаемая методика иллюстрируется на текущих выходных сигналах указанных инструментов.

26.01-01.532 Место волны Рэдклиффа в местной системе. Бобылев В.В., Исханов Н.Р., Байкова А.Т. *Астрономический журнал*. 2025. 102, № 11, с. 975-988. Рус.

Обзор публикаций, посвященных изучению характеристик волны Рэдклиффа. Появление массовых измерений лучевых скоростей звезд привело в последнее время к получению ряда интересных результатов, найденных из анализа пространственных скоростей молодых звезд и рассеянных звездных скоплений. Важное место в работе уделено вопросам, связанным с выяснением прямого или косвенного влияния магнитных полей на процесс формирования волны Рэдклиффа. Обсуждается гипотеза о Паркерской неустойчивости галактического магнитного поля как одной из причин формирования неоднородностей волнообразного типа в галактическом диске.

26.01-01.533 Компактные источники мазерного излучения в линии гидроксила он в области звездообразования Сер А. Вальтц И.Е. *Астрономический журнал*. 2025. 102, № 11, с. 989-994. Рус.

Проанализированы архивные данные проекта наземно-космического интерферометра Радиоастрой, касающиеся наблюдений излучения в линиях гидроксила OH (переходы 1665 МГц и 1667 МГц) в источнике Сер А. Наблюдения были проведены 7 января 2013 г. Длительность наблюдательного сеанса составляла около одного часа. В наблюдениях участвовали наземные радиотелескопы в Зеленчукской обсерватории (САО РАН, Северный Кавказ, РФ), в Евпатории (Крым, РФ) и в Торунском центре астрономии (Республика Польша). На наземно-космических базах интерферометрического отклика не обнаружено. На базе между радиотелескопами в Торуне и в обсерватории Зеленчукская обнаружено несколько компактных источников с угловыми размерами от 10 до 20 миллисекунд дуги (mas, millisecond). Эти угловые размеры соответствуют линейным размерам в 7.5–15 а. е. Показано, что обнаруженные компактные источники распределены по области размером 750–1500 а. е.

26.01-01.534 Исследование особенностей миграции

землеподобных планет в планетезимальных дисках и образования осколочных дисков. *Олейник О.С., Емельяненко В.В. Астрономический журнал. 2025. 102, № 11, с. 995-1005. Рус.*

Задачей настоящего исследования является исследование взаимодействия планет земной массы с диском планетезималей. Показано, что землеподобная планета, изначально находясь вблизи внутренней границы планетезимального диска, мигрирует внутрь диска. Глубина проникновения планеты в диск является случайной величиной, определяемой распределением угловых моментов планетезималей, сближающихся с планетой. Но всегда на определенном этапе направление миграции планеты изменяется, и планета возвращается к внутренней границе диска. При такой обратной миграции планета возмущает орбиты планетезималей и увеличивает их относительные скорости в той части диска, где она находилась на пути своей миграции. Наши оценки показывают, что после прохождения планеты земной массы через внешний планетезимальный диск (30—40 а. е. в нашей модели) средние относительные скорости в основной части диска возрастают до значений, достаточных для разрушения монокристаллических базальтовых планетезималей размером ~ 40 км. Таким образом, взаимодействие даже небольшой планеты (порядка земной массы) с планетезимальным диском способно привести к образованию пылевых частиц, наблюдаемых во внешних осколочных дисках.

26.01-01.535 Пульсар B1237+25 на частоте 111 МГц: средний профиль, переключение мод, нуллиинги, микроструктура. *Попов М.В., Смирнова Т.В. Астрономический журнал. 2025. 102, № 11, с. 1006-1021. Рус.*

Проведен анализ наблюдений пульсара B1237+25 на частоте 111 МГц. Наблюдения проведены на большой синфазной антенне (БСА) Пушинской радиоастрономической обсерватории ФИАН. Впервые в нормальной моде излучения на частоте 111 МГц в среднем профиле обнаружен новый компонент в центральной области излучения. Этот компонент с полушириной 1.6 мс наблюдается на фоне обычного более протяженного компонента с полушириной 7 мс. Этот новый компонент среднего профиля на частоте 111 МГц проявляется во всех модах радиоизлучения пульсара: нормальной спокойной (QN), нормальной яркой (FN) и в аномальной моде (AB), причем в аномальной моде он был выявлен и другими наблюдателями на других частотах. Дрейф субимпульсов наблюдается в нормальной моде излучения QN только в крайних компонентах среднего профиля. Нормальная мода прерывается нуллиингами и переходами в аномальную моду AB. В моде AB разрушается структура зон активности на краю внешнего конуса, расстояние между внутренним и внешним конусом увеличивается почти вдвое, а расстояние между внутренним конусом и центральной областью сокращается. Анализ наших данных показал, что компоненты внешнего и внутреннего конуса среднего профиля образуются обыкновенной модой радиоизлучения (O-мода) и составляют единое конусное излучение пульсара. Центральные компоненты среднего профиля (широкий и узкий) образуются необыкновенной модой излучения (X-мода). Получены оценки высоты выхода излучения из центральной области (X-мода) и конусного излучения (O-мода): 80 км и 370 км соответственно. Обнаружена микроструктура с субмикросекундной временной шкалой $\tau_{\mu} \leq 0.5$ мкс. Такая временная шкала хорошо соответствует характерному времени развития искрового разряда в полярной шапке. Для определенного нами значения τ_{μ} высота вакуумного зазора должна быть $h_p \leq 750$ см. По крутизне заднего фронта индивидуального импульса на долготе первого компонента было получено ограничение на величину γ фактора релятивистской вторичной плазмы: $\gamma \geq 260$. Анализ показал, что в 88% случаев реализуется нормальная мода (N), причем в 81% из них — QN мода, и лишь в 19% FN мода. AB мода составляет всего лишь 12%. Зависимость расстояния между компонентами внешнего и внутреннего конусов излучения от частоты одинаковая и соответствует степенному закону с показателем -0.16 .

26.01-01.536 Измерение параметров рассеяния радиоизлучения на частоте 1650 МГц в направлении пульсара B1937+21 с помощью наземно-космического интерферометра Радиоастрон. *Фадеев Е.Н., Бургин М.С., Попов М.В., Рудницкий А.Г., Смирно-*

ва Т.В., Согласнов В.А. Астрономический журнал. 2025. 102, № 11, с. 1022-1035. Рус.

В рамках Ранней научной программы проекта Радиоастрон в октябре 2012 г. были проведены наблюдения миллисекундного пульсара B1937+21. Общая продолжительность эксперимента, в котором участвовали 8 наземных радиотелескопов, составила около трех часов.

26.01-01.537 Рентгеновские двойные системы с Ве-звездами. *Федорова А.В., Тутуков А.В. Астрономический журнал. 2025. 102, № 11, с. 1036-1052. Рус.*

Рассматриваются основные свойства Ве-звезд и рентгеновских двойных систем, содержащих эти звезды. В подавляющем большинстве этих систем спутниками Ве-звезд являются нейтронные звезды, аккрецирующие вещество декреционного диска быстро вращающейся Ве-звезды. Наблюдаемые свойства таких систем изучаются в рамках гипотезы о том, что причиной высокой скорости вращения Ве-звезд является большой исходный угловой момент протозвездного облака, и в ходе эволюции звезды на главной последовательности происходит перенос углового момента из внутренних областей звезды к поверхности. В работе используются результаты выполненных ранее авторами расчетов эволюции быстро вращающихся Ве-звезд с учетом их звездного ветра, уносящего угловой момент внешних слоев звезды. На основе полученных в этих расчетах темпов ротационной потери массы Ве-звездами через декреционный диск оценивается, какая часть вещества диска захватывается нейтронной звездой в наблюдаемых рентгеновских двойных с Ве-звездами. Для систем с короткими орбитальными периодами около 30d максимальное значение этой части может превышать 0.01. При этом для наблюдаемых систем эта часть существенно (иногда более чем на два порядка) превышает долю захватываемого нейтронной звездой звездного ветра Ве-звезды.

26.01-01.538 Три модели гравитационного потенциала Млечного Пути. *Бобылев В.В., Байкова А.Т., Смирнов А.А. Астрономический журнал. 2025. 102, № 12, с. 1055-1067. Рус.*

Уточнены параметры осесимметричной модели гравитационного потенциала Галактики. Базовая кривая вращения Галактики на интервале расстояний $R < 0-190$ кпк строилась с использованием скоростей мазеров, классических цефеид, гигантов красного сгущения, голубых гигантов горизонтальной ветви, звезд гало, шаровых скоплений и карликовых галактик-спутников Млечного Пути. При этом кривая вращения подбиралась таким образом, чтобы не было доминирующего всплеска круговых скоростей в центральной ($R < 2$ кпк) области Галактики. В итоге построены две двухкомпонентные модели галактического потенциала, включающие вклады диска и гало невидимой материи, а также трехкомпонентная модель с заранее добавленным балджем небольшой массы. Такие модели могут быть полезными при изучении длительной орбитальной эволюции звезд, рассеянных и шаровых звездных скоплений в центральной ($R < 4$ кпк) области Галактики. Проведен тест на самосогласованность построенных моделей путем сопоставления их кривых вращения с набором модельных, которые были сгенерированы с использованием программного пакета Illustris TNG50.

26.01-01.539 Межзвездная среда в областях с экстремально высоким темпом звездообразования: перспективы наблюдений на космической обсерватории «Миллиметрон». *Васильев Е.О., Дроздов С.А., Бакланов П.В., Воробьев О.П., Дедиков С.Ю., Кирсанова М.С., Ларченко Т.И., Шахворостова Н.Н. Астрономический журнал. 2025. 102, № 12, с. 1068-1086. Рус.*

Высокий темп звездообразования и излучение активного ядра существенным образом преобразуют межзвездную среду. В ультракрасных инфракрасных галактиках, где скорость звездообразования достигает тысячи солнечных масс в год, газ и пыль подвергаются мощному воздействию ионизирующего излучения, космических лучей и ударных волн, в 100—1000 раз превосходящих характерные значения для галактик со спокойным звездообразованием. В этих условиях меняются эмиссионные способности газа и пыли: возбуждаются высокие переходы в молекулах и ионах в плотном газе, нагреваются пылевые частицы до

высоких температур. В работе проведен анализ возможностей исследования межзвездной среды, находящейся в экстремальных условиях ультрафиолетовых инфракрасных галактик в интервале красных смещений $\sim 0-3$, в атомарных и молекулярных линиях, пылевом континууме в дальнем инфракрасном диапазоне 100–500 мкм. Обсуждается перспектива наблюдений при помощи спектральных инструментов космической обсерватории “Миллиметр”.

26.01-01.540 О штарковском уширении рекомбинационных радиолоний в туманности Орион А. *Цивилев А.П.* *Астрономический журнал.* 2025. 102, № 12, с. 1087-1094. Рус.

С целью исследования штарковского уширения рекомбинационных радиолоний в Орионе А на длине волны 13.5 мм были проведены наблюдения линий Н93 γ , Н94 γ , Н95 γ и Н65 α на радиотелескопе РТ22 (ФИАН).

26.01-01.541 Влияние вариации элементного состава газа на молекулярную кинетику. *Воробьев О.П., Васильев Е.О.* *Астрономический журнал.* 2025. 102, № 12, с. 1095-1108. Рус.

Низкая эффективность перемешивания металлов в межзвездном газе приводит к тому, что в среде долгое время сохраняются неоднородности в их пространственном распределении. В работе изучено влияние вариаций элементного состава на химическую эволюцию молекулярного газа, остывающего за фронтами ударных волн от сверхновых.

26.01-01.542 Мазерное излучение ОН в области активного звездообразования W51M. *Ашимбаева Н.Т., Лехт Е.Е., Краснов В.В., Шутенков В.Р.* *Астрономический журнал.* 2025. 102, № 12, с. 1109-1120. Рус.

Представлены результаты исследования мазерного излучения в линиях ОН 1665 и 1667 МГц в области звездообразования W51M. Наблюдения были выполнены в 2022 и 2024 гг. на Большом радиотелескопе в Нансэ (Франция). Проведены результаты исследования эволюции плотности потока и степени круговой поляризации отдельных спектральных деталей. Проведено пространственное отождествление спектральных деталей. Получено, что степень линейной поляризации mL пяти наиболее сильных деталей (55.92, 57.18, 57.72, 58.27 и 59.5 км/с) в линии 1665 МГц не превышает 5%. Вектор поперечного магнитного поля для этих деталей ориентирован в пределах угла 19.6–39.2°. Таким образом, можно предположить, что имеется пространственно организованное крупномасштабное для W51M (e1 и e2) магнитное поле.

26.01-01.543 Карликовая новая типа SU UMa MASTER OT J212624.16+253827.2 в пробеле периодов: орбитальный период и отрицательные сверхгорбы. *Павленко Е.П., Сосновский А.А., Антоноук К.А., Колбин А.И., Антоноук О.И.* *Астрономический журнал.* 2025. 102, № 12, с. 1121-1131. Рус.

Представлены результаты анализа фотометрических наблюдений долгопериодической карликовой новой типа SU UMa MASTER OT J212624.16+253827.2 по данным ZTF, ATLAS, GAIA, ASAS-SN, полученным в 2018–2023 гг. (HJD 245 6772–246 0568), и в Крымской астрофизической обсерватории, полученным в 2023–2024 гг. (HJD 246 0199–246 0576) на разных стадиях вспышечной активности.

26.01-01.544 Результаты мониторинга магнитара SGR 1935+2154 в 2021–2024 гг. *Федорова В.А., Родин А.Е.* *Астрономический журнал.* 2025. 102, № 12, с. 1132-1136. Рус.

Представлены результаты наблюдений магнитара SGR 1935+2154 на частоте 111 МГц на радиотелескопе БСА ФИАН в период с апреля 2021 г. по ноябрь 2024 г. Для поиска как периодических, так и единичных импульсов использовались данные шести частотных каналов с временным разрешением 0.1 с, запись которых ведется в полосе приема (110.25 \pm 1.25) МГц. В ходе обработки данных за указанный период была получена оценка верхнего предела (250 мЯн) радиоизлучения магнитара SGR 1935+2154 на частоте 111 МГц.

26.01-01.545 Поиск RRAT на склонениях от +42° до +55° нейронной сетью. *Эльдаров И.В., Тюльба-*

шев С.А., Китаева М.А., Тюльбашева Г.Э. *Астрономический журнал.* 2025. 102, № 12, с. 1137-1146. Рус.

В площадке размером 3300 кв. град проведен поиск импульсных диспергированных сигналов с помощью нейронной сети. При обработке наблюдений на интервале полгода найдены импульсы пятнадцати известных пульсаров, а также три новых вращающихся радиотранзиента (RRAT). Для новых источников приведены их основные характеристики. Меры дисперсии транзиентов и полуширины импульсов находятся в интервалах 7.2–59.9 пк/см³ и 20–300 мс. Разработана схема поиска RRAT, позволяющая обнаруживать импульсы с отношением сигнала к шуму (С/Ш) ниже порога, необходимого для достоверного обнаружения.

26.01-01.546 Циклы активности звезд солнечного типа с супервспышками. *Саванов И.С., Каличкин А.Д.* *Астрономический журнал.* 2025. 102, № 12, с. 1147-1156. Рус.

На основе данных архива космической миссии TESS об изменении блеска звезд солнечного типа, обладающих супервспышками, выполнено исследование проявляющей циклического характера их магнитной активности. Из 711 звезд с супервспышками, отобранных согласно обзорам Tu (Zuo-Lin Tu) с каталогами, в фотометрическом архиве наземных наблюдений KWS содержатся данные для 401 звезды (из них для 331 звезды имеется не менее 300 измерений блеска). Из этого списка объектов проявления циклической активности были обнаружены у 115 объектов. Изучены зависимости между величинами периодов вращения и циклов активности объектов. Получено, что соответствующие диаграммы свидетельствуют о совпадении свойств циклической активности исследованных G-карликов с супервспышками и других звезд. Это позволяет сделать вывод о вероятной общности механизма активности. Наклон зависимости, полученный совместной аппроксимацией по доминантным циклам для G-карликов с супервспышками и других объектов, составляет 1.03 \pm 0.03, что соответствует имеющимся литературным данным. Вероятно, на диаграмме выделяются две имеющие одинаковый наклон последовательности, которые могут соответствовать аналогам солнечных циклов Швабе и длительностью 2–3 года.

26.01-01.547 Метод определения параметров фотонных колец по форме функции видности. *Чернов С.В., Щуров М.А., Бульгин И.И., Рудницкий А.Г.* *Астрономический журнал.* 2025. 102, № 12, с. 1157-1171. Рус.

Образы черных дыр представляют собой новый инструмент для проверки общей теории относительности в сверхсильных гравитационных полях. На сегодняшний день не существует достаточно надежного метода для определения параметров таких образов, как диаметр, ширина и асимметрия. В работе предложен алгоритм определения параметров образов черных дыр на примере гауссова асимметричного кольца. Используя предложенный метод, были выполнены оценки диаметра и параметра асимметрии образа сверхмассивной черной дыры в галактике M87* на основе наблюдательных данных, полученных группой Телескопа горизонта событий.

26.01-01.548 Далекие транснептуновые объекты в Солнечной системе с дополнительными внешними планетами. *Емельяненко В.В.* *Астрономический журнал.* 2025. 102, № 12, с. 1172-1179. Рус.

Проведено численное моделирование эволюции Солнечной системы, включающей на начальном этапе пять, шесть, семь и восемь внешних планет, а также самогравитирующий планетезимальный диск. Динамическая эволюция планетных систем изучалась на промежутке времени 4 миллиарда лет. В большинстве случаев численного моделирования происходило или разрушение планетных систем, или переход планет на орбиты, значительно отличающиеся от современных орбит. Но найден ряд успешных вариантов, в которых конфигурация орбит внешних планет через 4 миллиарда лет была близка к современной Солнечной системе. Выброс дополнительных планет может происходить на всех этапах эволюции Солнечной системы. В варианте с восемью планетами зафиксирован случай сохранения дополнительной планеты на далекой транснептуновой орбите с перигелийным расстоянием $q=120$ а.е. Несмотря на большое разнообразие путей эволюции систем с дополнительными пла-

нетами, во всех успешных вариантах регистрировались далекие транснептуновые объекты. Отмечена тенденция к увеличению числа сохранившихся далеких транснептуновых объектов при увеличении числа дополнительных планет.

26.01-01.549 Характеристики ансамбля близких потенциально опасных астероидов. *Шустов Б.М., Золотарев Р.В., Щербина М.П. Астрономический журнал.* 2025. 102, № 12, с. 1180-1192. Рус.

Оптимизация поиска (обнаружения) астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), имеет практический интерес. АСЗ размером более ~ 700 м известны практически все ($>90\%$). Однако, современная трактовка проблемы обнаружения АСЗ включает требование массового обнаружения астероидов размером от 10 м. Пока что систем обнаружения, удовлетворяющих этому требованию, ни в мире, ни в России нет, но работы по их созданию ведутся. В данной статье рассмотрены некоторые астрономические обоснования для выбора эффективной стратегии поиска АСЗ и в особенности таких астероидов, которые могут входить в околоземное космическое пространство (ОКП), т. е. сближаться с Землей на расстояние менее 1.5 млн км. В нашей работе такие астероиды, входящие в ОКП в течение ближайших 100 лет, отнесены к группе близких потенциально опасных астероидов (БПОА). Построены имеющие практическое значение распределения астероидов: по небесной сфере, по блеску и по угловой скорости. Сравнение распределений для ансамбля всех АСЗ крупнее 10 м (по модели NEOMOD) и для ансамбля БПОА показало, что распределения БПОА по небесной сфере и по угловой скорости отличаются от таких распределений для всех АСЗ. В частности, угловые скорости БПОА в большом интервале расстояний 0.1–0.5 а. е. в среднем на порядок ниже, чем для всех АСЗ, находящихся на тех же расстояниях. Особенности распределений БПОА важно учитывать при построении стратегии программы их обнаружения.

26.01-01.550 Изменение астроклимата высокогорных обсерваторий Таджикистана. *Большасова Л.А., Копылов Е.А., Миронов А.П., Кожирова Г.И., Жуков А.Г. Астрономический журнал.* 2025. 102, № 12, с. 1193-1202. Рус.

Проведено исследование некоторых параметров астроклимата двух высокогорных обсерваторий Таджикистана: Санглок и Шорбулак. Проанализированы многолетние вариации, сезонные особенности общей облачности и осаждаемого водяного пара по данным атмосферного реанализа ERA5. Сделаны оценки статистической значимости трендов с 1980 г. Представлены результаты измерений 2024–2025 гг. осаждаемого водяного пара и приземной скорости ветра в обсерватории Санглок.

26.01-01.551 Сверхновая Ia-CSM SN 2020aeuh: слияние массивных C/O белых карликов? *Чудай Н.Н. Письма в Астрон. ж.* 2025. 51, № 5, с. 235-239. Рус.

Исследовано происхождение околозвездной оболочки необычной сверхновой SN Ia 2020aeuh с использованием модели кривой блеска и наблюдательных ограничений.

26.01-01.552 Моделирование регистрации ярчайшего гамма-всплеска GRB 221009A сегментированным сцинтилляционным детектором. *Мкртчян А.А., Позаненко А.С., Минаев П.Ю., Фредерикс Д.Д. Письма в Астрон. ж.* 2025. 51, № 5, с. 240-254. Рус.

Проведено моделирование регистрации одного из ярчайших гамма-всплесков GRB 221009A с помощью сегментированного сцинтилляционного детектора. На основе результатов анализа наблюдений эксперимента Konus-WIND в моделировании воспроизведены спектральные характеристики всплеска. Особое внимание уделено влиянию инструментальных эффектов (мертвого времени, наложения событий) на точность восстановления энергетического спектра и поляризации излучения при экстремально высоких потоках. Показано, что сегментация детектора существенно снижает искажение зарегистрированного спектра. Получено, что достоверное измерение поляризации возможно при потоках до $\sim 10^{-5}$ эрг/см²/с, тогда как при потоках $\sim 10^{-2}$ эрг/см²/с (главный пик кривой блеска всплеска) измерение поляризации становится невозможным из-за существенного влияния эффектов мертвого времени и наложения событий (pile-up).

26.01-01.553 Скорость вращения спирального узора в галактике Млечный Путь. *Бобылев В.В., Байкова А.Т., Смирнов А.А. Письма в Астрон. ж.* 2025. 51, № 5, с. 255-263. Рус.

По выборке мазеров основные кинематические уравнения были решены с включением параметров вращения Галактики и пекулярной скорости Солнца как искомым неизвестных.

26.01-01.554 Космический эксперимент МВН. Первые результаты работы на орбите. *Бунтов М.В, Семена Н.П., Левин В.В, Мольков С.В, Воронин Ф.А, Гамков Д.М, Глушенко А.Г, Гурова Е.Б, Демин О.В, Коношенко В.П, Кривченко А.В, Кузнецов В.М, Кузнецова М.В, Лапишов И.Ю, Липилин В.А, Лутовичев А.А, Марков А.В, Пристаиш А.М, Ротин А.А, Сербин Д.В, Сибирцев Д.В, Сурин Д.М, Тамбов В.В, Топорков А.Г, Штыковский А.Е, Харченко Г.А. Письма в Астрон. ж.* 2025. 51, № 5, с. 264-286. Рус.

Описаны научные и технологические цели космического эксперимента "Монитор всего неба" (МВН) и представлены первые его результаты. Данный эксперимент начал работать на борту Международной космической станции (МКС) 19 декабря 2024 г. Анализ первых результатов наблюдений и работы аппаратуры на орбите показал, что основные характеристики МВН соответствуют заявленным по чувствительности, пространственному, энергетическому и временному разрешению. Получены наблюдательные данные наиболее ярких источников, которые можно использовать для дальнейшей калибровки прибора. Также определены значения фона частиц радиационных поясов Земли и ограничения, накладываемые повышенным фоном в районах Южно-Атлантической аномалии и высоких широт на наблюдения небесных источников. Выявлена проблема теплового режима детекторов из-за нерасчетного дополнительного теплового потока от поверхности МКС, которая уменьшает эффективную экспозицию наблюдений. Технологические цели эксперимента успешно выполняются. Анализ работы аппаратуры показал правильность заложенных программных и аппаратных решений. Представлена возможность расширения научной части исследований в части прямых рентгеновских наблюдений Солнца.

26.01-01.555 Моделирование аккреционной активности протопланетного диска вследствие столкновения со струей газа. *Григорьев В.В., Демидова Т.В. Письма в Астрон. ж.* 2025. 51, № 5, с. 287-297. Рус.

Продолжается исследование последствий столкновения протопланетного диска с газовой струей в рамках трехмерного численного газодинамического моделирования. Рассмотрено влияние орбитальных параметров и массы струи на аккреционную активность звезды. Показано, что наиболее влиятельными с точки зрения темпа аккреции параметрами оказались угол наклона орбиты и начальная масса падающего на диск вещества. Выполнено сравнение получаемых зависимостей темпа аккреции с реальными наблюдательными данными двух представителей звезд типа FU Ori. Оказалось, что не только максимальный темп аккреции согласуется с оценками, полученными в ходе наблюдений, но и само поведение темпа аккреции с течением времени очень похоже на имеющиеся долговременные кривые блеска.

26.01-01.556 Циклические изменения средних времен рекуррентности солнечных вспышек в активных областях. *Наговицын Ю.А., Ларионова А.И., Осипова А.А. Письма в Астрон. ж.* 2025. 51, № 5, с. 298-302. Рус.

Исследованы времена рекуррентности RT (иначе называемые временами ожидания) солнечных вспышек в активных областях в мягком рентгене по данным спутников GOES с 1998 по 2025 г. Показано, что RT достаточно хорошо аппроксимируется логнормальным распределением. На основе группированных выборок исследованы изменения трех видов средних значений распределений $\log RT$ со временем, из которых можно заключить, что средние логарифмы времен рекуррентности вне зависимости от способа их получения показывают изменения, схожие с изменениями чисел солнечных пятен SSN, средние значения RT изменяются в пределах от 110 до 280 мин.

26.01-01.557 GRB 241105A — самый далекий корот-

кий гамма-всплеск? Минаев П.Ю., Свинкин Д.С., Позаненко А.С., Фредерикс Д.Д. Письма в Астрон. жс. 2025. 51, № 6, с. 305-323. Рус.

Работа посвящена детальному исследованию активной фазы (prompt emission) гамма-всплеска GRB 241105A в гамма-диапазоне по данным экспериментов GBM/Fermi, SPI-ACS/INTEGRAL, Konus-Wind и BAT/Swift, а также его послесвечения в рентгеновском и оптическом диапазонах по данным различных обсерваторий. В кривой блеска активной фазы можно выделить яркий короткий главный эпизод, за которым следует более длительное и менее интенсивное излучение, что является характерной чертой коротких всплесков (тип I) с продленным излучением (extended emission). Спектральный анализ показал, что главный эпизод всплеска имеет жесткий энергетический спектр, типичный для коротких всплесков. Спектр продленного излучения на энергиях порядка 1 МэВ описывается степенным законом с фотонным индексом $\nu = -1.6 \pm 0.2$, что делает его наиболее жестким продленным излучением среди наблюдавшихся коротких всплесков. Кроме того, на диаграммах $E_{p,i} - E_{iso}$ и $T_{90,i} - E_{H}$ главный эпизод всплеска GRB 241105A занимает характерное для коротких гамма-всплесков положение. При этом рентгеновское и оптическое послесвечение GRB 241105A является наиболее ярким среди коротких гамма-всплесков (с измеренным красным смещением), что может указывать на принадлежность всплеска к событиям, вызванным коллапсом ядер массивных звезд (гамма-всплеском типа II). Если же гипотеза о связи GRB 241105A с классом коротких гамма-всплесков, вызванных слияниями компактных объектов, верна, он будет самым далеким из коротких всплесков (красное смещение GRB 241105A $z = 2.681$).

26.01-01.558 Аналитические подходы для быстрого предсказания форм гравитационных волн релятивистских двойных систем. Мишакина А.В., Блиников С.И. Письма в Астрон. жс. 2025. 51, № 6, с. 324-334. Рус.

Предложен быстрый метод получения полностью аналитических аппроксимаций для форм гравитационных волн, порождаемых при слиянии нейтронных звезд и черных дыр. Проведено сравнение полученной аппроксимационной формулы с численным расчетом, выявлены ее точность и пределы применимости.

26.01-01.559 Оболочки и каверны вокруг компактных скоплений массивных звезд: 3D МГД моделирование. Вадмаев Д.В., Быков А.М., Каляшова М.Е. Письма в Астрон. жс. 2025. 51, № 6, с. 335-347. Рус.

Представлены результаты трехмерного магнитогидродинамического (3D МГД) моделирования структуры течения плазмы в окрестности компактного скопления молодых массивных звезд на фазе эволюции скопления, определяемой звездами Вольфа-Райе. Такая фаза имеет место для скопления с возрастом в несколько миллионов лет, близкой к моменту начала вспышек сверхновых, прототипом являются известные объекты Вестерлунд 1 и 2. Столкновения мощных ветров массивных звезд в ядре скопления, рассчитанные как взаимодействия индивидуальных истечений звезд, сопровождаются их частичной термализацией и формируют коллективный ветер скопления. Рассмотрена МГД динамика расширения каверны, образованной коллективным ветром в зависимости от плотности окружающей межзвездной среды с однородным магнитным полем. Показано, что при расширении в холодной нейтральной среде коллективный ветер скопления способен изменить топологию его родительского облака за время фазы звезд Вольфа-Райе, выметая более $10^4 M_{\odot}$ газа за $\sim 2 \cdot 10^5$ лет и формируя при этом тонкие плотные протяженные оболочки с усиленными магнитными полями. В холодной нейтральной среде с плотностью $\sim 20 \text{ см}^{-3}$ и магнитным полем $\sim 3.5 \text{ мкГс}$ вокруг каверны ветра формируется тонкая оболочка с характерной ячеистой структурой распределения плотности и магнитных полей. Ячеистая структура магнитного поля проявляется в частях оболочки, расширяющихся в направлении, поперечном ориентации внешнего магнитного поля. Магнитные поля в оболочке усиливаются до значений напряженности $\geq 50 \text{ мкГс}$. Образование ячеистой структуры связано с развитием неустойчивостей. Расширение каверны в теплой нейтральной межзвездной среде также сопровождается формированием оболочки с усиленным магнитным полем.

26.01-01.560 Модели долгопериодических переменных шарового звездного скопления 47 Tuc. Фадеев Ю.А. Письма в Астрон. жс. 2025. 51, № 6, с. 348-353. Рус.

Проведены вычисления эволюции звезд с массой на главной последовательности $M_{ZAMS} = 0.86 M_{\odot}$ при относительном массовом содержании металлов $Z = 0.003$ и $Z = 0.004$. Отдельные модели эволюционных последовательностей были использованы для исследования радиальных звездных пульсаций на эволюционных стадиях RGB, eAGB и TP-AGB. Показано, что не все пульсирующие красные гиганты, наблюдаемые в шаровом звездном скоплении 47 Tuc, являются миридами, так как нижний предел значений периода пульсаций на эволюционной стадии TP-AGB составляет ≈ 70 сут, а радиальные пульсации с периодами от 10 до 40 сут происходят на эволюционной стадии eAGB. Значения периода и светимости гидродинамических моделей звезд, находящихся на эволюционных стадиях eAGB и TP-AGB, концентрируются около общей зависимости период-светимость. Малая масса мирид скопления 47 Tuc ($0.54 M_{\odot} \leq M \leq 0.70 M_{\odot}$) является главной причиной возникновения нерегулярных колебаний большой амплитуды и динамической неустойчивости внешних слоев звезды при периодах > 200 сут.

26.01-01.561 К механизмам формирования и нагрева ярких рентгеновских точек на Солнце. Степанов А.В., Зайцев В.В., Овчинникова Е.П. Письма в Астрон. жс. 2025. 51, № 6, с. 354-358. Рус.

Исследуются механизмы формирования и нагрева ярких рентгеновских точек (ЯРТ), с которыми связывают микро- и нано-вспышки в корональных дырах и спокойных областях, нагрев короны, джеты и эрупции плазмы. Из наблюдений следует, что ЯРТ состоят из нескольких компактных магнитных петель, существенно меньших корональных петель активных областей, но содержащих нагревую до температуры (1.5–4.4) МК плазму. На примере ультратонкой (60 км) магнитной петли, формирующейся при увеличении магнитного поля фотосферной конвекцией, показано, что плазма в таких петлях нагревается до температур (2–4) МК за счет диссипации электрических токов $I \geq 10^9$ А в хромосферной части петли при повышенном сопротивлении Каулинга. Оценена концентрация плазмы в петлях ЯРТ, $n \approx 10^9 - 10^{10} \text{ см}^{-3}$, которая меньше концентрации окружающей хромосферы. Поскольку теплопроводность петли вдоль магнитного поля значительно выше, чем поперек поля, петля быстро прогревается и на корональном уровне.

26.01-01.562 Зависимость темпа формирования нановспышек от фазы солнечного цикла. Моисеев Ю.А., Богачев С.А. Письма в Астрон. жс. 2025. 51, № 6, с. 359-365. Рус.

Использованы данные наблюдений телескопа SDO/AIA, полученные в канале 171 Å, чтобы исследовать зависимость темпа формирования солнечных нановспышек, наблюдаемых в вакуумной УФ-области спектра, от фазы солнечного цикла. С этой целью обработаны более 30 тысяч изображений, полученных за период времени с 2011 по 2020 год включительно, который охватывает почти полностью 24-й цикл солнечной активности и начало 25-го цикла. Для поиска нановспышек использовался широко распространенный метод, основанный на выделении событий, превышающих фон на величину 5σ и более, который был улучшен с целью более качественного удаления артефактов, связанных с заряженными частицами. В результате показано, что в периоды высокой солнечной активности число нановспышек возрастает примерно в 2 раза, по сравнению с их темпом в минимуме солнечного цикла. Изменение числа нановспышек в общих чертах согласуется с изменением числа обычных вспышек, хотя происходит с существенно меньшей амплитудой. Не обнаружено влияние солнечного цикла на распределение нановспышек по энергиям, а также не обнаружена разница между большими и малыми нановспышками, хотя предполагается, что она может существовать. Делается вывод, что основным препятствием для исследований нановспышек являются связанные с частицами артефакты, и дальнейший прогресс невозможен без улучшения методов их устранения.

26.01-01.563 Характеристики рентгеновских спектров активных ядер галактик из обзора всего неба

СРГ/ART-XC по архивным данным SWIFT/XRT. Соколов А.Д., Сазонов С.Ю., Усков Г.С. Письма в Астрон. ж. 2025. 51, № 7, с. 371-385. Рус.

Представлены результаты анализа рентгеновских спектров 101 активного ядра галактик (АЯГ) из каталога источников, обнаруженных телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского на борту орбитальной обсерватории СРГ в ходе первых пяти обзоров всего неба (ARTSS1-5). Это исследование выполнено в рамках работы по созданию статистически полной базы данных о населении АЯГ на основе этого каталога. Использовались архивные данные телескопа Swift/XRT в диапазоне энергий 1–10 кэВ. Спектры аппроксимировались моделью степенного закона с поглощением, а для шести источников была также рассмотрена модель с дополнительной компонентой излучения, отраженного от газопылевого тора. Для всех объектов впервые получены оценки наклона степенного континуума, колонки внутреннего поглощения и исправленного за поглощение рентгеновского потока. Большинство исследованных АЯГ характеризуются слабым внутренним поглощением, лишь у 15 объектов колонка поглощения $N_H > 10^{22}$ см⁻².

26.01-01.564 Наблюдения рассеянного звездного скопления в Гиадах в ходе обзора всего неба телескопом СРГ/eРОЗИТА. Хамитов И.М., Бикмаев И.Ф., Гильфанов М.Р., Сюняев Р.А., Медведев П.С., Горбачев М.А., Сжлянов А.С., Ефремова П.Д., Панарин С.С. Письма в Астрон. ж. 2025. 51, № 7, с. 386-408. Рус.

Используя данные рентгеновского обзора всего неба телескопом eРОЗИТА орбитальной обсерватории СРГ и оптический каталог членов рассеянного звездного скопления Гиады, построенный на основе данных Gaia, мы исследовали рентгеновое излучение звезд скопления. Из 395 членов скопления, расположенных на восточной галактической части неба, eРОЗИТА детектирует рентгеновое излучение от 290 звезд, 171 из которых впервые обнаружены в рентгеновских лучах.

26.01-01.565 Двойной белый карлик ZTF J0538+1953 как ярчайший проверочный источник гравитационных волн для космических лазерных интерферометров. Антипин С.В., Белинский А.А., Бердников Л.Н., Зубарева А.М., Масленникова Н.А., Постнов К.А., Стрелов И.А. Письма в Астрон. ж. 2025. 51, № 7, с. 409-415. Рус.

Измерено уменьшение орбитального периода ультрадальной двойной системы из двух белых карликов ZTF J0538+1953, которая является одним из потенциально обнаружимых галактических источников гравитационных волн миллигерцового диапазона для планируемых космических лазерных интерферометров. На основе фотометрических наблюдений, проведенных на 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ, построена диаграмма О—С. Она может быть описана квадратичными элементами изменения блеска, которые соответствуют скорости убывания орбитального периода системы $dP/dt = -(1.16 \pm 0.22) \cdot 10^{-11}$ с/с. Из темпа уменьшения орбитального периода в квадрульном приближении для излучения гравитационных волн двойной системой определена ее чирп-масса $M = 0.434 \pm 0.05 M_\odot$, которая оказалась на ~30% выше значения, полученного ранее из спектроскопического определения масс. Полученное значение чирп-массы ZTF J0538+1953 из измерений темпа уменьшения орбитального периода делает эту систему ярчайшим проверочным галактическим источником для космических интерферометров LISA и TianQin с отношением сигнала к шуму ≥ 119 и ≥ 30 за 5 лет и 2.5 года наблюдений соответственно.

26.01-01.566 HD 188101: пятнистая В-звезда с аномалиями химического состава. Баязитов Р.М., Машонкина Л.И., Пахомов Ю.В., Якунин И.А. Письма в Астрон. ж. 2025. 51, № 7, с. 416-430. Рус.

На основе спектральных и фотометрических наблюдений определены фундаментальные параметры малоизученной звезды HD 188101 с небольшим магнитным полем. Эффективная температура $T_{eff} = 14200 \pm 990$ К и ускорение свободного падения $lg g = 3.70 \pm 0.16$ характерны для звезд главной последовательности класса В9. С учетом отклонений от локального тер-

модинамического равновесия определены содержания He, C, O, Mg, Si, Ti, Sr. Обнаружены избытки Si, Ti и Sr относительно солнечного содержания. Содержание He меньше солнечного, но разница находится в пределах ошибки определения. Наряду с фотометрической переменностью, известной по данным космической миссии Kepler, обнаружены изменения в поглощении для линий He I, Mg II, Si II, Si III, Ti II, Fe II, причем для He I и Mg II разные линии дают разное содержание для одной фазы наблюдений. Показано, что звезда HD 188101 относится к группе химически пекулярных звезд He-weak SiTiSr.

26.01-01.567 Микролинзирование на скоплениях первичных черных дыр. Тощенко К.А., Бакланов П.В., Белоцкий К.М., Блишников С.И. Письма в Астрон. ж. 2025. 51, № 8, с. 433-441. Рус.

Многочисленные программы по поиску событий микролинзирования ограничили возможность существования темной материи в форме компактных объектов в гало нашей Галактики. Эти ограничения на долю темной материи сделаны в предположении одиночных, удаленных друг от друга объектов. В работе исследуется микролинзирование на первичных черных дырах (ПЧД), собранных в скопления. В этом случае при микролинзировании на ПЧД необходимо учитывать влияние как соседних ПЧД, так и совместный гравитационный потенциал от всего скопления, что существенно усложняет форму кривой блеска события микролинзирования. События с такими сложными кривыми блеска не обнаруживаются в наблюдательных экспериментах MACHO, EROS, OGLE, POINT-AGAPE, HSC. Показано, что часть темной материи в форме ПЧД (до 93% для исследуемых моделей) не регистрируется в данных наблюдательных экспериментах. Однако для всех моделей скоплений остается существенная часть ПЧД, которые можно рассматривать как одиночные линзы, поэтому кластеризация ПЧД в скопления не позволяет полностью снять ограничение из микролинзирования на долю ПЧД в темной материи.

26.01-01.568 Ограничения на особенности в космологическом спектре мощности из наблюдений эпохи вторичной ионизации. Скориков О.Р., Пилипенко С.В., Ткачев М.В. Письма в Астрон. ж. 2025. 51, № 8, с. 442-447. Рус.

Рассмотрены космологические модели со спектром мощности возмущений с увеличенной на масштабах карликовых галактик амплитудой (с "бампом" и с "наклоном"). Ранее образование большего числа галактик в таких моделях, по сравнению со стандартным спектром, способно сдвинуть эпоху вторичной ионизации на большие красные смещения по сравнению с наблюдениями. Нами показано, что при умеренной амплитуде бампа $A < 1.5-2$ рассмотренные модели не закрываются наблюдениями вторичной ионизации при $z \geq 8$ из-за имеющихся неопределенностей в доле ультрафиолетовых фотонов, покидающих галактики, f_{esc} и в неоднородности распределения нейтрального водорода.

26.01-01.569 Прямое обнаружение нетеплового рентгеновского излучения звездного скопления Арки. Кривонос С.А., Вишминин А.А., Быков А.М., Сазонов С.Ю., Клавель М. Письма в Астрон. ж. 2025. 51, № 8, с. 448-458. Рус.

Астрофизические наблюдения дают основания рассматривать компактные звездные скопления в качестве кандидатов в ускорители космических лучей. Однако звездные скопления, недавно наблюдавшиеся в гамма-лучах, также являются известными источниками нетеплового рентгеновского излучения, которое имеет синхротронную природу либо возникает в результате обратного комптоновского рассеяния релятивистских электронов. Таким образом, поиск и изучение нетеплового рентгеновского излучения от звездных скоплений представляют значительный интерес. До недавнего времени рентгеновое излучение скопления Арки в галактическом центре было невозможно отделить от нетеплового излучения близлежащего одноименного молекулярного облака, которое связано с отражением жесткого рентгеновского излучения. Однако было замечено, что это отраженное излучение затухает, что открывает возможность исследовать внутреннее нетепловое излучение скопления Арки. В настоящей работе мы демонстрируем, что излучение в ли-

нии железа K_{α} на энергии 6.4 кэВ, связанное с отраженным нетепловым излучением молекулярного облака Арки в 2000—2010 гг., не детектируется в глубоких наблюдениях космических телескопов XMM-Newton в 2020 г. и Chandra в 2022 г., оставляя звездное скопление хорошо изолированным. Показано, что нетепловое излучение скопления локализовано в его ядре и характеризуется относительно стабильным, жестким ($\Gamma \geq 1.5$) степенным континуумом с потоком $\sim 10^{-13}$ эрг см^{-2} с^{-1} в диапазоне от 2 до 10 кэВ.

26.01-01.570 О вкладе пульсарной туманности PSR J0437-4715 в околоземные потоки антипротонов и позитронов в диапазоне ГЭВ-ТЭВ. *Петров А.Е., Быков А.М. Письма в Астрон. ж.* 2025. 51, № 8, с. 459-469. Рус.

Орбитальными обсерваториями PAMELA и AMS-02 обнаружен значимый избыток потока позитронов с энергиями выше нескольких десятков ГэВ над ожидаемым в моделях их вторичного происхождения за счет неупругих столкновений ядер космических лучей (КЛ) с межзвездным веществом. Избыток может быть связан с аннигиляцией или распадами гипотетических частиц темной материи или, альтернативно, с вкладом локальных источников первичных позитронов и, в частности, пульсаров. Напротив, наблюдаемые AMS-02 потоки антипротонов с энергиями выше ГэВ не противоречат, с учетом неопределенностей, моделям их вторичного происхождения. Отношение наблюдаемого потока позитронов к потоку антипротонов практически не зависит от энергии в диапазоне от 60 до 400 ГэВ. Такое поведение можно понять, если наблюдаемые локальные спектры античастиц в диапазоне десятков-сотен ГэВ формируются одним и тем же источником. Релятивистские ветры пульсаров инжектируют ускоренные электроны и позитроны в межзвездную среду. Быстро движущиеся пульсары формируют туманности с головными ударными волнами (УВ), ускоряющие по механизму Ферми в сталкивающихся течениях как свеженеинжектированные позитроны и электроны пульсарного ветра, так и адроны и лептоны галактических КЛ из межзвездной среды. Такая система может формировать одинаковые спектры частиц независимо от способа их инжекции. Ближайший к Земле миллисекундный пульсар PSR J0437-4715 формирует пульсарную туманность с наблюдаемой в оптическом и ультрафиолетовом диапазонах головной УВ, и наряду с пульсаром Геминга является возможным кандидатом на роль главной околоземной “фабрики” античастиц. Рассматривая PSR J0437-4715, мы демонстрируем на основе моделирования ускорения частиц методом Монте-Карло и аналитической модели анизотропной диффузии в локальной межзвездной среде, что вклад этого пульсара может объяснять наблюдаемый поток позитронов в диапазоне 30 ГэВ—1 ТэВ, и одновременно - поток антипротонов на сотнях ГэВ с независимым от энергии отношением потоков античастиц. Модель позволяет достигнуть наблюдаемых потоков античастиц, если $\sim 25\%$ мощности пульсарного ветра PSR J0437-4715 передается ускоренным позитронам и электронам и используется на повторное ускорение антипротонов.

26.01-01.571 Периоды вращения звезд в рассеянных скоплениях Плеяды, Гиады и Blanco 1 по вариациям блеска в данных TESS. *Горбачев М.А., Хамитов И.М., Бикмаев И.Ф., Сусликов М.В., Гумеров Р.И., Азметханова А.Э., Николаева Е.А. Письма в Астрон. ж.* 2025. 51, № 8, с. 470-485. Рус.

В работе использованы фотометрические данные космической обсерватории TESS, а также оптические каталоги звезд рассеянных скоплений Плеяды, Гиады и Blanco 1, содержащие 2226, 790 и 752 источника, отобранных на основе данных миссии Gaia. Применяя различные статистические методы оценки периодичности, такие как SNR и PDM, а также учитывая особенности углового разрешения TESS (1 пиксель = $21''$), мы определили периоды для 635, 222 и 98 звезд в Плеядах, Гиадах и Blanco 1 соответственно. Поиск периодических сигналов был ограничен 13 днями, поскольку продолжительность кривой блеска в одном секторе TESS составляет около 27 дней, а использование нескольких последовательных секторов затруднено из-за смещения нуль-пункта инструментального потока между ними. Дополняя наши результаты информацией из базы VizieR, было получено, что периоды оценены для 936 (42%), 584 (74%) и 250 (33%) звезд в Плеядах, Гиадах и Blanco 1 со-

ответственно. Среди них для 44, 28 и 12 источников в указанных скоплениях периоды определены впервые. Таким образом, в данной работе представлен наиболее полный каталог периодов звезд в этих скоплениях.

26.01-01.572 Новая оценка смещения нуль-пункта параллакса каталога Gaia DR3, полученная из сравнения с РСДБ-измерениями мазеров и радиозвезд. *Бобылев В.В. Письма в Астрон. ж.* 2025. 51, № 8, с. 486-493. Рус.

По литературным данным составлена наиболее полная на сегодняшний день выборка радиозвезд и мазеров с измеренными РСДБ-методом тригонометрическими параллаксами, общих с каталогами Gaia EDR3 и Gaia DR3. Выборка содержит 151 звезду. Выполнен анализ разностей параллакса и собственных движений звезд вида “Gaia-РСДБ”. Получена новая оценка систематического смещения нуль-пункта параллакса Gaia относительно инерциальной системы координат, $\Delta\pi = -0.038 \pm 0.011$ мсд. Найденные оценки скоростей взаимного вращения подтверждают факт отсутствия значимого вращения системы Gaia DR3 относительно внегалактической системы координат, которую в данном случае представляют РСДБ-измерения.

26.01-01.573 Разработка статического прибора ориентации космического аппарата по инфракрасному горизонту Земли с ортогональными оптическими каналами. *Мельников А.В., Михайлов Е.Н., Рабовский А.Е. Приборы.* 2025, № 11, с. 16-21. Рус.

Представлены результаты моделирования статического прибора ориентации по Земле с объективом на основе внеосевых параболических зеркал. С помощью объектива с ортогональными оптическими каналами изображение противоположных участков горизонта Земли строится на чувствительном слое матричного приемника. Предложенная схема прибора обеспечивает необходимую точность ориентации, снижение габаритных размеров и упрощает расположение на корпусе космического аппарата.

26.01-01.574 К вопросу аналитической оценки скорости планет Солнечной системы. *Гладков С.О. Инженерная физика.* 2026, № 1, с. 63-66. Рус.

Из решения изопериметрической вариационной задачи на условный экстремум найдены вполне корректные соотношения между скоростью движения планет Солнечной системы и расстоянием. Это оказалось возможным доказать с помощью строго вычисленного значения неопределенного множителя Лагранжа. Приведена таблица сравнения теоретически полученных результатов с экспериментальными, и показано их вполне удовлетворительное согласие. Ключевые слова: функционал, множитель Лагранжа, кинетическая энергия, потенциальная энергия взаимодействия.

26.01-01.575 О математическом моделировании колебательного движения метеороидов в атмосфере Земли. *Андрущенко В.А., Максимов Ф.А., Сызранова Н.Г. Инженерно-физический журнал.* 2026. 99, № 1, с. 165-174. Рус.

Рассмотрен характер движения малых космических тел (метеороидов) при полете в атмосфере Земли, при котором они совершают колебательные движения вокруг центра масс из-за их асимметричного обтекания. Для оценки параметров полета метеороида, имеющего форму эллипсоида, с помощью численных методов рассчитаны его аэродинамические характеристики (коэффициенты аэродинамического сопротивления, подъемной силы, момента тангажа и демпфирующего момента тангажа) в зависимости от величины угла атаки. С учетом этих характеристик проведено численное моделирование движения метеороида в атмосфере и оценено влияние на амплитуду колебаний этого тела его аэродинамических свойств и параметров входа в атмосферу.

26.01-01.576 «Квазар-КВО» — уникальный российский радиоинтерферометрический комплекс. *Кайдановский М.Н., Кудрявцев В.В. История науки и техники.* 2025, № 12, с. 27-38. Рус.

Российская радиоинтерферометрическая сеть со сверхдлинными базами (РСДБ-сети) «Квазар-КВО» используется для получения высокоточной координатно-временной информации

в интересах фундаментальных и прикладных исследований. В частности, работа комплекса «Квazar-КВО» в кооперации с международной РСДБ-сетью IVS обеспечивает Россию данными о Всемирном времени, о параметрах вращения Земли, а также о наземной и небесной системах отсчета координат. Комплекс «Квazar-КВО» является координатно-временной основой российской спутниковой системы навигации ГЛОНАСС. В статье рассмотрены история создания и инструментальная база РСДБ-сети «Квazar-КВО», ее технические характеристики, принцип действия, рассказано о научной деятельности данного комплекса. Ключевые слова: радиотелескоп, радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой (РСДБ), РСДБ-комплекс «Квazar-КВО», высокоточная координатно-временная информация, параметры вращения Земли, спутниковая система навигации ГЛОНАСС, Институт прикладной астрономии РАН.

26.01-01.577 Параметризация влияния модифицированных теорий гравитации на характеристики космологических возмущений. *Фомин И.В. Нелинейный мир.* 2024. 22, № 3, с. 19-29. Рус.

Постановка проблемы. В настоящее время рассматривается большое число моделей ранней вселенной на основе гравитации Эйнштейна и ее различных модификаций. Для построения сценариев эволюции ранней вселенной, как правило, используются инфляционные модели с определенными параметрами, предсказания которых сопоставляются с наблюдательными данными. Единый метод классификации инфляционных моделей в контексте их верификации отсутствует. Цель. Предложить новый метод классификации моделей космологической инфляции в контексте их верификации по наблюдательным ограничениям на значения параметров космологических возмущений; параметризации влияния модифицированных теорий гравитации на значения параметров космологических моделей оценка данных параметров для верифицированных по наблюдательным данным космологических моделей. Результаты. Предложены метод классификации космологических моделей по порядку разложения зависимости тензорно-скалярного отношения от спектрального индекса скалярных возмущений; метод верификации произвольных моделей космологической инфляции на основе учета неминимальной связи скалярного поля и скаляра Гаусса—Бонне. Обсуждается обобщение данного подхода на произвольные модификации гравитации Эйнштейна. Практическая значимость. Предложенная классификация моделей космологической инфляции дает возможность рассматривать критерий их соответствия наблюдательным ограничениям на значения параметров космологических возмущений вне зависимости от типа модификации гравитации Эйнштейна. Также, рассмотренный подход параметризации влияния модифицированных теорий гравитации на характеристики космологических возмущений и фоновых параметров инфляционных моделей позволяет рассматривать космологические модели с произвольными фоновыми параметрами как принципиально верифицированные по наблюдательным ограничениям.

26.01-01.578 Линия сверхтонкой структуры позитрония как средство связи с внеземными цивилизациями. *Кауц В.Л. Нелинейный мир.* 2024. 22, № 3, с. 30-34. Рус.

Постановка проблемы. Задача установления контакта связи с внеземными цивилизациями включает поиск оптимального диапазона частот принимаемого сигнала, в частности, учета поглощения при распространении, отсутствие естественных источников излучения данной длины волны. Цель. Провести анализ линии, отвечающей сверхтонкой структуре основного состояния позитрония, как возможного источника техногенного происхождения. Результаты. Показано, что регистрация линии сверхтонкой структуры позитрония космического происхождения современными техническими средствами предполагает техногенную природу сигнала. Практическая значимость. Проведение программ поиска внеземных цивилизаций на частоте сверхтонкого расщепления основного состояния позитрония.

26.01-01.579 Применение оптимального управления к общей теории относительности. *Applications of optimal control to general relativity.* *Haggag S., Ramadan M. Нелинейный мир.* 2024. 22, № 3, с. 35-48. Англ.

Two classes of applications of optimal control to problems

in General Relativity are reviewed. The first class includes direct applications where each problem has beforehand a specific objective function. Two examples of this class are reviewed, where optimal control leads directly to the optimal solutions. Results show that optimal control is more powerful than classical variational calculus. The second class includes innovative applications where problems in General Relativity may be approached by introducing appropriate objective functions. Three examples of this class are reviewed, where an optimal inflationary universe, an optimal cosmological model and an optimal stellar model are, respectively, constructed. Results show that optimal control adds physical significance to solutions of such problems.

26.01-01.580 Чёрная дыра Рейсснера—Нордстрёма: кривизна и сингулярность с квантованным фундаментальным тензором. *Reissner—Nordström black hole: curvature and singularity with quantized fundamental tensor.* *Tawfik A.N., Alshehri A.A. Нелинейный мир.* 2024. 22, № 3, с. 49-61. Рус.

To reveal the nature of curvatures and singularities which are emerged with the proposed quantization imposed on the fundamental tensor, the timelike geodesic congruence of the Reissner—Nordström metric shall be derived, analytically, and analyzed, numerically. The evolution of the geodesic congruence expansion is found nonvanishing everywhere. Furthermore, as the radial distance from the singularity decreases, an extremely large geodesic congruence expansion evolution occurs. The proposed quantization seems to largely enhance and apparently enrich the profile of the geodesic congruence expansion evolution. That the Kretschmann scalar for both versions of the fundamental tensor is found finite everywhere allows for an unambiguous assessment that the curvatures and singularities are likely real and essential (not artifact in some coordinate systems). We conclude that the proposed quantization seems to locally sharpen the curvatures and hence the singularities of the charged, non-rotating, spherically symmetric, and massive Reissner—Nordström black hole. This finding would alter the Schwarzschild radius and even the entire black hole geometry, especially at relativistic quantum scales. We also conclude that the additional curvatures even with their approximate qualitative estimation point to a rich spacetime structure which is apparently overseen in the classical limit.

26.01-01.581 Движение вращающихся тензоров плотности в пространстве Клиффорда. *Motion of spinning density tensors in a Clifford space.* *Kahil M.E., Ammar S.A. Нелинейный мир.* 2024. 22, № 3, с. 62-80. Англ.

A Clifford Space is counted to be a tempting approach to unify both micro-physics and macro-physics simultaneously. Such a tendency may be found in the realm of replacing vectors with poly-vectors. Accordingly, the problem of motion becomes essential to express the motion of extended particles rather than test particles. These equations are performed by using an equivalent Bazanski Lagrangian in a Clifford space. From this perspective, a generalized type an equation for spinning density tensors and spinning density deviation tensors are obtained. Spinning deviation tensors in a Clifford space may give a better performance to examine the problem of stability for spinning density tensors as expressed in terms of vectors defined in such a class of Riemannian geometry.

26.01-01.582 Аналитические связанные решения уравнений космологической динамики в рамках ОТО и гравитации Эйнштейна—Гаусса—Бонне. *Manucharyan G.D., Fomin I.V. Нелинейный мир.* 2024. 22, № 3, с. 81-90. Рус.

Постановка проблемы. В настоящее время существуют различные модифицированные теории гравитаций, аналитическое решение которых существенно усложняется ввиду их нелинейно-интегро-дифференциальных форм. При этом отсутствуют модели, позволяющие расширять решения, полученные в рамках ОТО, на случаи модифицированных гравитаций (в рассматриваемом случае гравитация Эйнштейна—Гаусса—Бонне) с помощью функциональной зависимости от инфляционных параметров и линейной комбинации параметров медленного скатывания первого. Цель. Нахождение аналитических решений уравнений космологической динамики в рамках гравитации Эйнштейна—Гаусса—Бонне, связанных с решениями уравнений фоновой динамики в рамках ОТО, определение па-

раметров, позволяющих проводить их верификацию. Результаты. Представлена новая форма связи инфляционных параметров между гравитацией ЭГБ и общей теорией относительности (ОТО), выражены, с учетом предложенной формы связи, функциональные зависимости космологических параметров ЭГБ гравитации, через параметры ОТО. Рассмотрена конкретная модель космологической инфляции для случая ОТО, показано, что модель не верифицируема по наблюдательным ограничениям. Практическая значимость. Предложенная форма связи позволяет расширять решения уравнений космологической динамики ОТО на случай гравитации Эйнштейна—Гаусса—Бонне, что в свою очередь дает возможность оценивать квантовые поправки к ОТО оперируя только инфляционными параметрами ОТО.

26.01-01.583 Новый подход к анализу космологических параметров в мультиполевой космологии. *Большакова К.А., Червон С.В. Нелинейный мир.* 2024. 22, № 3, с. 91-103. Рус.

Постановка проблемы. В настоящее время для модели космологической инфляции с одним скалярным полем разработан способ вычисления космологических параметров, таких как спектр мощности скалярных и тензорных возмущений, их спектральные параметры, тензорно-скалярное отношение. В случае мультиполевой конфигурации однозначного метода расчета космологических параметров не разработано. Предлагается новый эффективный алгоритм нахождения космологических параметров в тензорно-мульти-скалярной теории гравитации (ТМС ТГ), описывающей эпоху ранней инфляции Вселенной. Цель. Разработать новый метод сведения трехполевой модели ТМС ТГ к модели с одним скалярным полем. Результаты. Предложен новый подход, основанный на использовании частного случая аналитического решения в многополевой космологической модели для установления функциональной связи между полями. Практическая значимость. Разработанный метод дает возможность вычисления космологических параметров и их сопоставления наблюдательным данным.

26.01-01.584 Излучение молекулы метанола на частоте 84.5 ГГц в темных молекулярных облаках. *Созинова П.С., Шавворостова Н.Н. Ученые записки физического ф-та МГУ.* 2025. № 5, с. 2550801. Рус.

Представлены результаты наблюдений излучения метанола в линии $5_{-1}-4_0E$ на частоте 84.5 ГГц в направлении на 32 источника — темные молекулярные облака (Infrared Dark Clouds — IRDC) на разных стадиях эволюции. Из 32 источников, наблюдавшихся на 20-метровом радиотелескопе в Онсале в 2019 и 2020 гг., в 24 обнаружено излучение метанола на частоте 84.5 ГГц. Все обнаружения являются новыми. В 5 источниках излучение имеет мазерную природу. Проведено сравнение излучения на 84.5 ГГц с ранее наблюдавшимся излучением на 44 ГГц в направлении на те же источники. Установлено, что между излучением на частоте 44 ГГц и 84.5 ГГц есть корреляция, а профили линий имеют заметное сходство.

26.01-01.585 Структурные свойства хозяйских галактик легковесных сверхмассивных черных дыр на основе новых данных космического телескопа "Хаббл". *Осипова Л.Г., Гришин К.А., Чилингарян И.В. Ученые записки физического ф-та МГУ.* 2025, № 5, с. 2550802. Рус.

Проведено двумерное и одномерное фотометрическое моделирование новых данных с космического телескопа имени Хаббла для галактик с ИМВН и для объектов из расширенной выборки с ограничением по массе ЧД до миллиона масс Солнца. При помощи полученных моделей была оценена звездная масса балджа галактики и установлено положение галактик на масштабном соотношении "масса черной дыры—масса балджа". Их расположение на данном соотношении позволяет наложить ограничения на процессы роста черных дыр в режиме малых масс.

26.01-01.586 Об одной особенности пондеромоторной силы ионно-циклотронной волны в околоземной плазме. *Гульельми А.В., Потапов А.С., Фейгин Ф.З. Физика плазмы.* 2025. 51, № 3, с. 313-319. Рус.

Теория пондеромоторных сил в космической плазме является существенной составной частью солнечно-земной физики. Описана проблема, возникающая при использовании классической

формулы пондеромоторной силы для анализа ускорения ионов в магнитосфере Земли под воздействием ионно-циклотронной волны, состоящая в том, что сила стремится к бесконечности с приближением частоты волны к локальной гирочастоте ионов. Показано, что сингулярность возникает в результате идеализаций, неизбежно принимаемых при построении стандартной теории пондеромоторных сил. Рассмотрено два предельных случая — случай широкой полосы непрозрачности для ионно-циклотронных волн, и случай узкой полосы непрозрачности. Предложено два способа регуляризации пондеромоторной силы в окрестности полюса показателя преломления ионно-циклотронной волны. Один из них устраняет сингулярность в полюсе на границе широкой, а другой — на границе узкой полосы непрозрачности. Указаны примеры волновых явлений в околоземной плазме, при исследовании которых необходимо учитывать сингулярность пондеромоторной силы, вычисленной в рамках стандартной теории.

26.01-01.587 Численное моделирование разлета искусственных плазменных образований в геомагнитном поле. *Урвачев Е.М., Лосева Т.В., Гончаров Е.С., Ляхов А.Н. Физика плазмы.* 2025. 51, № 4, с. 407-417. Рус.

Приводятся результаты трехмерного численного моделирования взаимодействия высокоскоростной алюминиевой плазменной струи с геомагнитным полем в условиях эксперимента "Северная звезда-II" с использованием полученного ранее сценария инжекции. В численном расчете продемонстрировано возбуждение альфвеновских волн, вытеснение магнитного поля, динамика диамагнитной каверны, замедление струи и индуцированное движение в фоновой плазме. Приведены результаты сравнения расчетных параметров с результатами измерений концентраций ионов.

26.01-01.588 Численное моделирование сверхтонкого электронного токового слоя в ближней части магнитосферного хвоста. *Мингалева О.В., Сеуко П.В., Мельнич М.Н., Мингалева И.В., Малова Х.В., Григоренко Е.Е., Зелёный Л.М. Физика плазмы.* 2025. 51, № 5, с. 461-487. Рус.

Рассматриваются результаты численного моделирования квазистационарных конфигураций токового слоя с заданной нормальной компонентой магнитного поля, который состоит из тонкого ионного токового слоя и вложенного в него сверхтонкого электронного токового слоя. Такие слои регулярно наблюдаются во время предварительной фазы магнитосферных суббурь спутниковой миссией MMS в нейтральном слое ближней части хвоста магнитосферы Земли. Предложена новая численная модель стационарного токового слоя с кинетическим описанием образующих его пролетных популяций ионов и электронов, для которых уравнения Власова решаются методом характеристик для стационарного случая, и функции распределения рассчитываются на регулярных сетках в пространстве скоростей, причем учитывается реальное отношение заряда к массе для электронов. С помощью этой модели получены плоские симметричные конфигурации сверхтонкого электронного токового слоя, которые качественно и количественно согласуются с наблюдениями космических аппаратов миссии MMS.

26.01-01.589 Пылевая плазма в окрестностях активного астероида. *Дубинский А.Ю., Резниченко Ю.С., Голубь А.П., Попель С.И. Физика плазмы.* 2025. 51, № 6, с. 652-658. Рус.

Рассмотрены плазменно-пылевые процессы в окрестностях активного астероида. На основе физико-математической модели для самосогласованного описания концентраций фотоэлектронов и пылевых частиц над поверхностью освещенной части активного астероида определены функции распределения фотоэлектронов, а также высотные зависимости зарядов, размеров и концентраций пылевых частиц. Показано, что важным фактором, оказывающим влияние на процесс формирования плазменно-пылевой системы в окрестностях активного астероида, являются процессы, связанные с газовым потоком от участков поверхности астероида, содержащих воду. Наличие газовых потоков делает невозможной левитацию мелких частиц. Они уносятся газовым потоком от поверхности астероида. В свою очередь, оказывается возможным трактовать достаточно

крупные пылевые частицы как левитирующие над поверхностью астероида.

26.01-01.590 Параметры пылевой плазмы в магнитосфере Сатурна. *Шохрин Д.В., Копнин С.И., Попель С.И. Физика плазмы.* 2025. 51, № 6, с. 659-666. Рус.

Рассмотрены параметры пылевой плазмы магнитосферы Сатурна на различных расстояниях от планеты. Особое внимание уделено параметрам в окрестностях спутника Энцелада. Рассмотрен вопрос влияния фотоэффекта, вызванного взаимодействием пылевой компоненты плазмы магнитосферы Сатурна с солнечным излучением, на её параметры. Показано, что благодаря фотоэффекту, несмотря на значительное удаление от Солнца, возможны ситуации, когда пылевые частицы могут приобретать положительный заряд. Определены условия, при которых пылевые частицы могут иметь положительный заряд. Предложен качественный метод определения ситуаций, когда пылевые частицы имеют положительный, а когда отрицательный заряды.

26.01-01.591 Анализ динамики солнечной плазмы при корональном выбросе массы на Солнце посредством программы PIVLab. *Каламанов В.Г., Садовский А.М. Физика плазмы.* 2025. 51, № 9, с. 983-989. Рус.

Рассматривается возможность использования метода трассерной визуализации в качестве альтернативы существующим методам анализа динамики солнечной плазмы при корональном выбросе массы. С помощью компьютерной программы PIVLab был произведен весторонний анализ динамики коронального выброса массы. Была получена линейная скорость коронального выброса массы, а также его скоростное поле. В ходе исследования была отмечена способность программы оценивать изменения корональной структуры, а также фиксировать процессы, приводящие к данным изменениям.

26.01-01.592 Возбуждение нижнегибридных волн при взаимодействии магнитосферы Сатурна с пылевой плазмой. *Шохрин Д.В., Попель С.И., Копнин С.И. Физика плазмы.* 2025. 51, № 9, с. 990-995. Рус.

Рассмотрены линейные и нелинейные процессы, связанные с наличием пыли, которые могут быть важны в плазме магнитосферы Сатурна. Описано возбуждение нижнегибридной турбулентности, обусловленное взаимодействием тяжелых ионов магнитосферы Сатурна с пылевой плазмой. Показано, что нижнегибридная турбулентность может возбуждаться во всей области взаимодействия плазмы магнитосферы Сатурна с заряженной пылью. Определена эффективная частота столкновений, характеризующая аномальную потерю импульса тяжелых ионов из-за их взаимодействия с нижнегибридными волнами, а также возникающие в системе электрические поля. Отмечается, что хотя амплитуда электрических полей, возбуждаемых на орбите Энцелада при наличии нижнегибридной турбулентности, и меньше значений электрических полей вблизи поверхности Энцелада, поля, возбуждаемые вследствие развития нижнегибридной турбулентности, могут влиять на картину электрического поля в магнитосфере Сатурна, в том числе, и на орбите Энцелада.

26.01-01.593 Эксперименты по моделированию и визуализации пылевой плазмы в окрестности безатмосферного космического тела. *Шашкова И.А., Кузнецов И.А., Тянь Я., Попель С.И., Карташева А.А., Дольников Г.Г., Лян А.Н., Абделаал М.Э., Захаров А.В. Физика плазмы.* 2025. 51, № 10, с. 1131-1144. Рус.

Представлен лабораторный эксперимент по формированию пылевой плазмы и визуализации потоков заряженных пылевых частиц диаметром от 10 до 100 мкм, состоящих из диоксида кремния, входящего в состав лунного реголита. Рассмотрено влияние приповерхностной плазмы, моделируемой с помощью электростатического поля и ультрафиолетового излучения (УФ-излучения), на динамику частиц-имитаторов реголита. Визуализированы траектории движения частиц и изменение рельефа поверхности с частицами, а также получены оценки скоростей их взлета. Показано, что картина движения частиц в пылевой плазме зависит от наличия УФ-излучения и размера самих частиц. Результаты проведенного исследования представляют интерес для понимания физических процессов,

происходящих у поверхности Луны и у других безатмосферных тел Солнечной системы, таких как Меркурий, астероиды, спутники Марса и др.

26.01-01.594 Аподизация зрачка телескопа для звездной коронографии с целью визуализации экзопланет. *Шульгина И.В., Юдаев А.В., Шашкова И.А., Киселев А.В., Тавров А.В. Ж. эксперим. и теор. физ.* 2026. 169, № 1, с. 5-26. Рус.

Для визуализации экзопланеты, пылевого (зодиакального) или протопланетного диска и других слабоконтрастных компонент астрономического изображения требуется ослабить дифракционный фон окрестности звезды. Высококонтрастные методы звездной коронографии, включая аподизацию функции пропускания телескопа, способны существенно ослабить фоновый компонент изображения яркого источника - звезды, в ее дифракционной окрестности. С помощью численного решения задачи дифракции были рассчитаны высококонтрастные изображения моделируемых родительской звезды и экзопланеты при вариации различных условий астрономического наблюдения. Варьировались типы аподизаций, контрасты, отношения световых потоков от звезды и планеты, видимый (оптически пространственно неразрешаемый) размер звезды, спектральный диапазон длин волн наблюдения, ошибки наведения телескопа и т.п. Предложены новые типы аподизации, в частности показано, что возможно и целесообразно применение одновременно двух типов аподизаций по фазе и амплитуде. Использовано гомеоморфное (эластичное) преобразование координат и показана перспектива поиска более эффективных аподизаций для получения высококонтрастного изображения. Ключевые слова: прямое изображение экзопланет, методы высокого контраста, фазовая аподизация зрачка, телескоп, звездный коронограф.

26.01-01.595 Образование сверхмассивных черных дыр в ранней Вселенной механизмом скалярно-гравитационной неустойчивости. *Игнатъев Ю.Г. Ж. эксперим. и теор. физ.* 2026. 169, № 1, с. 43-57. Рус.

Исследована математическая модель развития локализованных сферических возмущений в космологической среде скалярно-заряженной жидкости с хиггсовым скалярным полем. Показана возможность аномально быстрого роста сингулярной массы (10^{25} -кратное) за времена порядка нескольких сотен планковских времен на стадиях перехода космологической модели из неустойчивого состояния в устойчивое. После завершения перехода центральная масса фиксируется, а центральный скалярный заряд обращается в нуль. При этом радиус локализации является сопутствующим во Вселенной Фридмана. Исследованы особенности процесса образования черной дыры и показана принципиальная возможность образования сверхмассивных черных дыр в ранней Вселенной механизмом скалярно-гравитационной неустойчивости. Ключевые слова: скалярно-заряженная жидкость, космологическая модель, скалярное поле с самодвижением, гравитационная устойчивость, продольные возмущения, сверхмассивные черные дыры.

26.01-01.596 Разработка инфраструктуры энергетических решений для открытых систем. Guiding Infrastructure of Energy Solution for Open System. *Moldavanov A.B. Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия.* 2026. 80, № 1, <http://vnu.phys.msu.ru/toc/2026/1>. Англ.

A phenomenon of the forming of a guiding topology in energy development of an open thermodynamic system (OTS) through the establishing of energy infrastructure shaped due to confinement of the parameters of energy exchange is considered. The infrastructure consists of two interconnected energy spectra intrinsically stemming from the suggested model of OTS. These spectra are based on innate limitation imposed on the efficiency of energy exchange (primary spectrum) and the net passing energy (secondary spectrum). In this context, the primary spectrum creates the quantitative basis for realization of solution in the points of equilibrium, whereas the secondary spectrum forms the grounds for bidirectional transfer between the evolutionary-spaced points.

26.01-01.597 Геодинамика территории Владикавказ

по данным ГНСС наблюдений на Осетинском геодинамическом полигоне. *Миронов А.П., Милоков В.К., Осюченко А.Н., Хубаев Х.М., Дзедоев С.О. Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия.* 2026. 80, № 1, с. 2610802. Рус.

Представлен анализ современной геодинамической обстановки территории Владикавказа, выполненный по данным многолетних ГНСС наблюдений на постоянных станциях и полевых пунктах Осетинского геодинамического полигона. Оценки скоростей выполнены в двух системах отсчета: глобальной ITRF и локальной, относительно неподвижной Евразии. В системе ITRF движение региона согласуется с общим движением всего Большого Кавказа в северо-восточном направлении со скоростью 27–30 мм/год. Результаты профилирования скоростей в локальной системе отсчета выявили ряд разнонаправленных кинематических особенностей, определяющих современный геодинамический режим этого региона. Полученные результаты, а также результаты сейсмологических исследований свидетельствуют о том, что город Владикавказ находится в зоне относительно активных геодинамических процессов.

26.01-01.598 Исследование статических полей аксиноподобных частиц в окрестности вращающейся нейтронной звезды. *Бедда А.В., Асташенков М.О., Вшивцева П.А., Денисов В.И. Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия.* 2026. 80, № 1, с. 2610803. Рус.

Проведено вычисление статической части аксиноподобного поля, создаваемого вращающейся нейтронной звездой: пульсара или магнетара. Показано, что это статическое поле распределено анизотропно вокруг звезды, образуя дилатонное гало. Сделан вывод, что для электромагнитных волн это гало будет служить анизотропной линзой.

26.01-01.599 Указание на вариацию отношения масс электрона и протона в пределах Галактики. II. Линии метанола на 3 мм в спектрах Sgr B2(N) и (M). *Воротынцева Ю.С., Левшаков С.А., Хенкель К. Письма в ЖЭТФ.* 2025. 122, № 11, с. 709-716. Рус.

Дифференциальные измерения фундаментальной постоянной (отношение массы электрона к массе протона) для двух источников вблизи Галактического центра — молекулярных облаков Стрелец B2(N) и B2(M) — показали, что ее значение в этих областях ниже лабораторного.

26.01-01.600 Тестирование сценариев новой физики с помощью объединенного спектра интегрального потока LHAASO и Ковёр-3 для GRB 221009A: аксиноподобные частицы и нарушение лоренц-инвариантности. *Сатушин П.С., Троцкий С.В. Письма в ЖЭТФ.* 2026. 123, № 2, с. 82-89. Рус.

При наблюдении гамма-всплеска GRB 221009A были обнаружены фотоны с очень высокой энергией: $\gtrsim 10$ ТэВ коллаборацией Large High Altitude Air Shower Observatory (LHAASO) и $\gtrsim 100$ ТэВ коллаборацией Ковёр-3. Ожидается, что такие энергичные фотоны поглощаются в результате образования электрон-позитронных пар на пути к Земле. Их наблюдение может быть объяснено новой физикой, включая нарушение лоренц-инвариантности или смешивание фотонов с аксиноподобными частицами. В данной работе мы строим совместный спектр интегрального потока, объединяя измерения потока из обоих экспериментов, и подгоняем его под эти гипотезы. В то время как нарушение лоренц-инвариантности может объяснить наблюдение Ковёр-3, он обеспечивает лишь незначительное улучшение по сравнению со стандартной физикой для объединенного набора данных, и требует параметров, исключенных другими ограничениями. Смешивание фотонов с аксиноподобными частицами улучшает описание данных экспериментов LHAASO и Ковёр-3, обеспечивая существенное улучшение качества аппроксимации для определенной области пространства параметров аксиноподобных частиц.

26.01-01.601 Поиск сигнала от быстрых радиовсплесков в УФ диапазоне. *Пишурков М.С., Тюрин И.В. Письма в ЖЭТФ.* 2026. 123, № 2, с. 90-95. Рус.

Проведен поиск УФ-сигналов, которые могут сопутствовать быстрым радиовсплескам. Для этого в данных телескопа

GALEX, который наблюдал небо с 2003 по 2013 г., были проанализированы времена приходов фотонов из 29 областей локализации повторяющихся быстрых радиовсплесков. Не было найдено ни одного статистически значимого кандидата с характерной продолжительностью ≤ 10 мс. Это позволило впервые поставить ограничения на отношение спектральных плотностей потоков в двух диапазонах: $F_{UV}/F_{rad} < 4 \cdot 10^{-4}$, которые в несколько раз превосходят существующие аналогичные ограничения в оптическом диапазоне.

26.01-01.602 Применение инерциальной системы позиционирования для оценки координат и ориентации оптических модулей глубоководного нейтринного телескопа ВАИКАЛ-GVD. *Аврорин А.В., Аврорин А.Д., Айнутдинов В.М., Алмазвердян В.А., Бардачова З., Белопанчиков И.А., Бондарев Е.А., Борина И.В., Буднев Н.М., Гафаров А.Р., Голубков К.В., Горшков Н.С., Гресь Т.И., Дворницки Р., Джилкибаев Ж.А.М., Дик В.Я., Домогацкий Г.В., Дорошенко А.А., Дячок А.Н., Елжов Т.В., Заборов Д.Н., Завьялов С.И., Звездов Д.Ю., Кебкел В.К., Кебкел К.Г., Кожин В.А., Колбин М.М., Колигаев С.О., Конисhev К.В., Коробченко А.В., Кошечкин А.П., Круглов М.В., Кулелов В.Ф., Куликов А.А., Лемешев Ю.Е., Миргазов Р.Р., Наумов Д.В., Николаев А.С., Петухов Д.П., Перевалова И.А., Плисковский Е.Н., Розанов М.И., Рябов Е.В., Сафронов Г.Б., Сиренко А.Э., Скурихин А.В., Соловьев А.Г., Сороковиков М.Н., Стромаков А.П., Суворова О.В., Таболенко В.А., Третьяк В.И., Ульзутуев Б.Б., Фомин В.Н., Харук И., Храмов Е.В., Чадымов В.А., Чепурнов А.С., Шайбачов Б.А., Шимкович Ф., Широков Е.В., Шишкин В.Ю., Штекл И., Эцжерова Э., Яблокова Ю.В. Приборы и техника эксперимента.* 2025, № 3, с. 80-86. Рус.

Нейтринный телескоп нового поколения ВАИКАЛ-GVD находится в стадии развертывания в озере Байкал. Телескоп регистрирует черенковское излучение, возникающее в результате взаимодействия нейтрино с водной средой озера, с помощью пространственной структуры оптических модулей — фотодетекторов. Чтобы определить направление на источник нейтрино, необходимо знать координаты каждого модуля в момент регистрации события. В статье описывается конструкция, принцип работы инерциальной системы позиционирования, служащей для определения пространственного положения модулей в водной среде, представлены первые результаты ее функционирования.

26.01-01.603 Система сбора научной информации для применения в космических экспериментах. *Лисин Д.В. Приборы и техника эксперимента.* 2025, № 3, с. 130-131. Рус.

26.01-01.604 Имитатор черного тела для калибровки научной аппаратуры “Солнце-Терагерц”. *Филиппов М.В. Приборы и техника эксперимента.* 2025, № 5, с. 118-124. Рус.

Космический эксперимент “Солнце-Терагерц” готовится к проведению на борту российского сегмента Международной космической станции с 2026 г. Цели эксперимента — получение данных о терагерцевом излучении Солнца, а также об изучении солнечных активных областей и солнечных вспышек. Научная аппаратура “Солнце-Терагерц” состоит из восьми детекторов, целевые частоты которых лежат в диапазоне 0.4–12.0 ТГц. Для первичных калибровок детекторов научной аппаратуры необходим тепловой источник. Для этого был разработан имитатор черного тела, позволяющий направлять в телескопы научной аппаратуры потоки от излучающего элемента при различных температурах. По результатам экспериментальной проверки сделаны выводы о точности задания температур измерителем-регулятором и о температурном градиенте от центра к краю зеркала излучателя.

26.01-01.605 Сверхновые звёзды как источники космических лучей. *Быков А.М. УФН.* 2025. 195, № 8, с. 835-857. Рус.

Огромное выделение энергии при вспышках сверхновых звёзд и наблюдения нетеплого радиоизлучения позволили В.Л.

Гинзбургу и С.И. Сыроватскому более 60 лет назад обосновать гипотезу о ключевой роли сверхновых как источников основной компоненты галактических космических лучей. К настоящему моменту многоканальные наблюдения остатков сверхновых во всём диапазоне электромагнитных волн предали большую объём данных, подтвердивший факт ускорения протонов и электронов до энергий порядка 100 ТэВ. Остаются открытыми несколько вопросов, среди которых проблема происхождения и поиск источников наблюдаемых космических лучей высоких энергий в интервале от 100 ТэВ до 1000 ПэВ. Решение проблем эффективной конверсии кинетической энергии эжекты сверхновой, вращательной энергии пульсаров, а также анизотропных течений плазмы вокруг аккрецирующих чёрных дыр в популяцию релятивистских частиц требует кинетического моделирования нелинейных механизмов с широким динамическим диапазоном масштабов. Моделирование необходимо, чтобы определить максимальные энергии частиц, ускоряемых сверхальевыми течениями плазмы с замороженными магнитными полями и бесстолкновительными ударными волнами. Задача сводится к выявлению физических механизмов сильного (сверхадиабатического) усиления магнитной турбулентности, необходимого для быстрого ускорения частиц механизмом Ферми. В обзоре представлены результаты кинетического моделирования и анализ нелинейных механизмов формирования сильной анизотропной магнитной турбулентности и спектров ускоренных частиц. Недавние наблюдения орбитальной обсерваторией IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) поляризованного рентгеновского синхротронного излучения остатков сверхновых Тихо Браге, Кассиопея А, SN1006 и др. позволили с использованием нелинейных моделей заглянуть внутрь космических ускорителей частиц и понять механизмы модификации сильных ударных волн. Обсуждаются возможности ускорения ядер космических лучей мощными анизотропными истечениями плазмы в компактных релятивистских остатках коллапсировавших сверхновых звёзд. Молодые пульсары в двойных звёздных системах, а также аккрецирующие чёрные дыры — микроквезары могут ускорять ядра до энергий существенно выше ПэВ.

26.01-01.606 Космические и внеатмосферные исследования Солнца. Кузнецов В.Д. УФН. 2025. 195, № 8, с. 858-874. Рус.

Исследования по физике Солнца были в сфере научных интересов С.И. Сыроватского, они охватывали широкий круг проблем, и цель этих исследований состояла в получении единой картины физических процессов на Солнце. Наблюдения с космических аппаратов дают всё более детальную информацию о происходящих на Солнце явлениях и процессах, стимулируя построение физических моделей и давая более глубокое понимание того, как устроено и как работает Солнце. Приводится обзор космических и внеатмосферных исследований Солнца, охватывающих все слои солнечной атмосферы от конвективной зоны и фотосферы до солнечной короны и солнечного ветра.

26.01-01.607 Новые горизонты исследований реликтового излучения Вселенной. Новиков Д.И., Дорошкевич А.Г., Ларченкова Т.И., Малиновский А.М., Михальченко А.О., Осипова А.М., Парфёнов К.О., Пилипенко С.В. УФН. 2025. 195, № 10, с. 1047-1061. Рус.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые с начала нового столетия в области изучения реликтового излучения (РИ), остаются нерешёнными некоторые глобальные задачи, стоящие перед современной наблюдательной космологией. В их числе доказательство либо опровержение инфляционной теории эволюции Вселенной и её тепловая история в дорекомбинационный период. Остаётся также неизвестным спектр мощности начальных возмущений на мелких масштабах. Детальное изучение поляризации реликтового фона и его частотного спектра позволит пролить свет на эти актуальные вопросы, ответы на которые нельзя получить из каких-либо других наблюдений, кроме наблюдений особенностей реликтового излучения. Решение указанных задач также позволит попутно получить новую информацию о свойствах фоновых излучений (излучения пыли, инфракрасного фона, синхротронного излучения, свободносвободных переходов, линий CO) и гравитационного линзирования. Эксперименты нового поколения нацелены на решение

вышеперечисленных задач наблюдательной космологии.

26.01-01.608 Уникальный микроквезар SS433: новые результаты, новые проблемы. Черепанчук А.М., Додин А.В., Постнов К.А. УФН. 2025. 195, № 10, с. 1108-1128. Рус.

Уникальный микроквезар SS433 является массивной рентгеновской двойной системой на продвинутой стадии эволюции. Оптическая звезда переполняет свою полость Роша и истекает в очень сильном темпе на чёрную дыру, вокруг которой образовался наклонённый к плоскости орбиты сверхкритический аккреционный диск с релятивистскими коллимированными выбросами вещества — джетами. И диск, и джеты прецессируют с периодом 162,3 дня. Во внешних частях прецессирующих джетов формируются эмиссионные линии водорода и нейтрального гелия, которые перемещаются периодически по спектру SS433 с громадной амплитудой в $\sim 1000 \text{ \AA}$, или в шкале скоростей $\sim 50000 \text{ км/с}$. Именно такой уникальной особенностью объект SS433 привлёк к себе внимание учёных в 1979 году. За многие годы исследований в оптическом, инфракрасном, радио-, рентгеновском и гамма-диапазонах было получено много важных результатов о физических процессах, протекающих в этом микроквезаре, однако ряд принципиальных вопросов о природе SS433 оставался нерешённым. В ГАИШ МГУ выполнен 30-летний спектральный и фотометрический мониторинг SS433. С использованием всех опубликованных данных за 45 лет наблюдений удалось получить ряд важных результатов, касающихся природы этого уникального микроквезара. Открыто вековое эволюционное увеличение орбитального периода SS433 с темпом $(1,14 \pm 0,25) \cdot 10^{-7}$ секунд за секунду, на основании чего релятивистский объект в системе SS433 идентифицирован как чёрная дыра с массой более $8M_{\odot}$. Установлено, что расстояние между компонентами SS433 возрастает со временем, а это препятствует образованию общей оболочки в системе. Размеры полости Роша оптической звезды—донора вещества— в среднем постоянны во времени, что обеспечивает устойчивый вторичный обмен масс в системе. Открыта эллиптичность орбиты SS433, свидетельствующая в пользу модели плавающего аккреционного диска, отслеживающего прецессию оси вращения оптической звезды, наклонённой к плоскости орбиты системы в силу несимметричного взрыва сверхновой, сопутствующего образованию релятивистского объекта. Параметры кинематической модели системы, кроме прецессионного периода, в среднем постоянны на протяжении 45 лет. Обнаружены сбои в фазах прецессионного периода, но в среднем прецессионный период держится постоянным на протяжении 45 лет. Микроквезар SS433 физически подобен многим ультраярким рентгеновским источникам (ULX), открытым в последние годы в других галактиках. Регистрация жёсткого гамма-излучения до 200 ТэВ от туманности W50 свидетельствует о возможном ускорении до энергий $\sim \text{ПэВ}$ адронов в области взаимодействия мощного экваториального ветра от SS433 с веществом туманности. В SS433 особенности режима сверхкритической аккреции на чёрную дыру проявляются наиболее ярко. Поэтому дальнейшие многоволновые исследования этого уникального микроквезара представляются весьма перспективными.

26.01-01.609 От двухжидкостной модели Ландау к Вселенной де Ситтера. Воловик Г.Е. УФН. 2025. 195, № 11, с. 1137-1156. Рус.

Аналогии с физикой конденсированного состояния полезны для рассмотрения явлений, связанных с квантовым вакуумом, в силу того что в конденсированном состоянии нам известна физика как в инфракрасном, так и в ультрафиолетовом пределе, в то время как для элементарных частиц и гравитации физика в транспланковском масштабе неизвестна. Одним из краеугольных камней связи между нерелятивистским конденсированным состоянием и современными релятивистскими теориями является двухжидкостная гидродинамика сверхтекучего гелия, разработанная Ландау и Халатниковым (Исаак Маркович Халатников впоследствии основал и возглавил Институт имени Ландау). Динамика и термодинамика деситтеровского состояния расширяющейся Вселенной обладают некоторыми чертами многожидкостной системы. Фактически существуют три компонента: квантовый вакуум, гравитационная составляющая и релятивистская материя. Расширяющийся деситтеров-

ский вакуум служит тепловым резервуаром с локальной температурой, в два раза превышающей температуру Гиббонса—Хокинга относительно космологического горизонта. Такая локальная температура приводит к нагреванию как материальной, так и гравитационной компоненты. Последняя ведёт себя как жёсткая материя Зельдовича и представляет собой тёмную материю. В состоянии равновесия и в отсутствие обычной материи положительное парциальное давление тёмной материи компенсирует отрицательное парциальное давление квантового вакуума. Поэтому в состоянии полного равновесия полное давление равно нулю. Это весьма похоже на давление соответственно сверхтекучей и нормальной компонент сверхтекучей жидкости, которые вместе создают нулевое давление жидкости в отсутствие окружающей среды. Мы предлагаем феноменологическую теорию, описывающую динамику тёмной энергии и тёмной материи. Если предположить, что в динамике гравитационная тёмная материя ведёт себя как реальная жёсткая материя Зельдовича, то получаем степенной закон релаксации обеих компонент вследствие обмена энергией между ними. Отсюда следует, что их значения, известные в настоящее время, имеют правильный порядок величины. Мы также рассматриваем другие проблемы через призму физики конденсированного состояния, включая чёрные дыры и постоянную Планка.

26.01-01.610 Исследование траекторного движения и оптимизация режимов управления при уводе косми-

ческих объектов с орбиты. *Кульков В.М., Егоров Ю.Г., Фирсюк С.О. Вестник Московского авиац. ин-та. 2025. 32, № 4, с. 201-210. Рус.*

Статья посвящена актуальной проблеме обеспечения безопасности космической деятельности ввиду засорения околоземного космического пространства космическим мусором (КМ). Представлены методические подходы, а также некоторые результаты исследований в области траекторного движения при использовании различных систем активного удаления КМ. Подробно рассмотрены бесконтактные способы увода КМ с орбиты воздействием ионного пучка, как перспективное направление создания безопасных и надежных систем удаления КМ. Рассмотрены методические основы расчета перелетов космического аппарата (КА) с использованием двигателей малой тяги, включая методики оптимизации траектории движения и режимов управления вектором тяги электроракетного двигателя (ЭРД) при уводе КА с орбиты. Представлен сравнительный анализ и показаны области применения как контактных, так и бесконтактных средств увода космического мусора с орбиты.

См. также **26.01-01.3, 26.01-01.4, 26.01-01.5, 26.01-01.6, 26.01-01.7, 26.01-01.8, 26.01-01.9, 26.01-01.10, 26.01-01.11, 26.01-01.17, 26.01-01.19, 26.01-01.34, 26.01-01.35, 26.01-01.59, 26.01-01.191, 26.01-01.281, 26.01-01.282, 26.01-01.283, 26.01-01.396, 26.01-01.398, 26.01-01.399**

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

A

Alshehri A.A. **26.01-01.580**
 Ammar S.A. **26.01-01.581**
 Artamonov N.A. **26.01-01.98**

B

Bochkarev A.V. **26.01-01.98**

C

Chen Sixun Sun **26.01-01.181**
 Cho J.Y.K. **26.01-01.503**
 Своваешук Л.Г. **26.01-01.517**

G

Gladyshev V.O. **26.01-01.398**

H

Haggag S. **26.01-01.579**
 He X.P. **26.01-01.177**
 Huang L. **26.01-01.367**

K

Kahil M.E. **26.01-01.581**
 Khoperskov A.V. **26.01-01.414**
 Kravchenko E.A. **26.01-01.399**
 Kuzmin N.M. **26.01-01.414**

L

Li N. **26.01-01.177**
 Li Yong **26.01-01.111**
 Ling Sun **26.01-01.181**
 Liu Feiyu **26.01-01.180**
 Luan Bingqing **26.01-01.180**

M

Moldavanov A.B. **26.01-01.596**

R

Ramadan M. **26.01-01.579**
 Rongguang Li **26.01-01.181**
 Rubtsov G.I. **26.01-01.399**

S

Shao Changjin **26.01-01.180**
 Sirotin D.S. **26.01-01.414**

T

Tawfik A.N. **26.01-01.580**
 Tong Zhicheng **26.01-01.111**

W

Wang Yong **26.01-01.264**

Y

Yang Zhenqing **26.01-01.180**
 Yicen Li **26.01-01.181**
 Yuan Y. **26.01-01.177**

Z

Zemlyanukhin A.I. **26.01-01.98**
 Zeng R. **26.01-01.367**
 Zhadan D.S. **26.01-01.399**
 Zhao Kun **26.01-01.264**
 Zhiqiang Cheng **26.01-01.181**

A

Абакумова Т.О. **26.01-01.355**
 Абделаал М.Э. **26.01-01.593**
 Абдрахимов А.М. **26.01-01.491**
 Абдуламонов Х.А. **26.01-01.123**
 Абраменко Д.С. **26.01-01.178**
 Авдюшев В.А. **26.01-01.494**
 Авзалетдинова Д.Ш. **26.01-01.385**
 Аврорин А.В. **26.01-01.602**
 Аврорин А.Д. **26.01-01.602**
 Аганкин И.А. **26.01-01.488**
 Агафонов А.А. **26.01-01.117**
 Агейкин Н.А. **26.01-01.109,**
26.01-01.138
 Аджян Г.С. **26.01-01.519**
 Айманова Г.К. **26.01-01.428**
 Айнутдинов В.М. **26.01-01.602**
 Антов В.Н. **26.01-01.404,**
26.01-01.408

Акиншин Р.В. **26.01-01.266**
 Аксененков В.В. **26.01-01.133**
 Аксенов С.П. **26.01-01.211,**
26.01-01.232
 Алабужев А.А. **26.01-01.40**
 Алавердян А.Г. **26.01-01.519**
 Алавердян Г.Б. **26.01-01.519**
 Алгазин С.Д. **26.01-01.62**
 Алексанова Е.Д. **26.01-01.477**
 Алексеев С.Г. **26.01-01.140**
 Алексеев С.О. **26.01-01.511**
 Алёшин И.М. **26.01-01.473**
 Алешкин В.М. **26.01-01.307,**
26.01-01.315, 26.01-01.318
 Алимаси А. **26.01-01.518**
 Аллахвердян В.А. **26.01-01.602**
 Алпатов В.В. **26.01-01.466**
 Альбаев Д.А. **26.01-01.67, 26.01-01.68**
 Ананьев Р.А. **26.01-01.222,**
26.01-01.225

Ананьева В.И. **26.01-01.501**
 Андреев Ю.В. **26.01-01.11**
 Андрианов И.К. **26.01-01.243**
 Андросова С.В. **26.01-01.349**
 Андрущенко В.А. **26.01-01.575**
 Аникина Е.Д. **26.01-01.471**
 Анисимкин В.И. **26.01-01.109,**
26.01-01.138, 26.01-01.143
 Аносов А.А. **26.01-01.172,**
26.01-01.173, 26.01-01.174
 Антипин С.В. **26.01-01.565**
 Антипова К.Г. **26.01-01.184**
 Антонов А.Ю. **26.01-01.290**
 Антонов В.А. **26.01-01.215**
 Антонюк К.А. **26.01-01.543**
 Антонюк О.И. **26.01-01.543**
 Арабаджи В.В. **26.01-01.90**
 Аракелов А.С. **26.01-01.464**
 Арбузова Е.В. **26.01-01.514**
 Аристова А.А. **26.01-01.477**
 Артемьева К.В. **26.01-01.127**
 Арутюнян Д.А. **26.01-01.471,**
26.01-01.474, 26.01-01.476,
26.01-01.481
 Асафьев Н.О. **26.01-01.133**

Астапов И.И. **26.01-01.510,**
26.01-01.515, 26.01-01.517
 Асташенков М.О. **26.01-01.598**
 Афанасьев Л.В. **26.01-01.88,**
26.01-01.89
 Ахи А.В. **26.01-01.363**
 Ахметханова А.Э. **26.01-01.571**
 Ахтемов З.С. **26.01-01.459**
 Ахунзянова К.А. **26.01-01.299**
 Ашимбаева Н.Т. **26.01-01.542**

B

Бадмаев Д.В. **26.01-01.559**
 Базарова С.Б. **26.01-01.127**
 Базилевский А.Т. **26.01-01.486**
 Байдерин А.А. **26.01-01.511**
 Байкова А.Т. **26.01-01.402,**
26.01-01.532, 26.01-01.538,
26.01-01.553
 Баканас Е.С. **26.01-01.447,**
26.01-01.449, 26.01-01.451
 Бакланов П.В. **26.01-01.539,**
26.01-01.567
 Бакусов П.А. **26.01-01.28, 26.01-01.31**
 Балакирев Н.Е. **26.01-01.324**
 Балакший В.И. **26.01-01.113,**
26.01-01.147, 26.01-01.149
 Балудев С.Ю. **26.01-01.483**
 Балыкин Д.Е. **26.01-01.146**
 Барабанов С.И. **26.01-01.447**
 Бараева Д.С. **26.01-01.319**
 Бардаханов С.П. **26.01-01.300**
 Бардачова Э. **26.01-01.602**
 Барейко И.А. **26.01-01.47**
 Барсук В.Е. **26.01-01.156**
 Барта М. **26.01-01.455**
 Батов А.В. **26.01-01.499**
 Батова Н.И. **26.01-01.133**
 Батраков В.В. **26.01-01.261**
 Батурин А.П. **26.01-01.504**
 Бахнэ С. **26.01-01.256**
 Бахтин В.К. **26.01-01.146,**
26.01-01.236
 Башкатов В.В. **26.01-01.268**
 Башков И.О. **26.01-01.373**
 Башков О.В. **26.01-01.373**
 Башкова Т.И. **26.01-01.373**
 Баязитов Р.М. **26.01-01.566**
 Бедда А.В. **26.01-01.598**
 Безответных В.В. **26.01-01.195,**
26.01-01.197
 Безрук М.Н. **26.01-01.373**
 Безъязыков П.А. **26.01-01.510,**
26.01-01.515, 26.01-01.517
 Беликов Р.А. **26.01-01.210,**
26.01-01.362
 Беликова Е.А. **26.01-01.210**
 Белинский А.А. **26.01-01.565**
 Белов Г.С. **26.01-01.471**
 Белова Н.Ю. **26.01-01.348**
 Белова О.М. **26.01-01.455,**
26.01-01.458
 Белогорцев А.С. **26.01-01.198**
 Белокуров В.В. **26.01-01.12**
 Белопапантиков И.А. **26.01-01.602**
 Белоусов В.В. **26.01-01.355**
 Белоцкий К.М. **26.01-01.509,**
26.01-01.567
 Беляев И.В. **26.01-01.264**
 Беляев Р.В. **26.01-01.172,**
26.01-01.173
 Белянкова Т.И. **26.01-01.130**

- Бербенева Н.А. 26.01-01.463
Бердников Л.Н. 26.01-01.565
Бехер С.А. 26.01-01.381
Бибииков Н.Г. 26.01-01.359,
26.01-01.365
Бикмаев И.Ф. 26.01-01.564,
26.01-01.571
Бичурин М.И. 26.01-01.166
Благовещенская Н.Ф. 26.01-01.5,
26.01-01.468
Блишников С.И. 26.01-01.558,
26.01-01.567
Блинов А.В. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Блоцкая А.И. 26.01-01.379
Бобров М.С. 26.01-01.258
Бобровницкий Ю.И. 26.01-01.165
Бобылев В.В. 26.01-01.402,
26.01-01.532, 26.01-01.538,
26.01-01.553, 26.01-01.572
Богачев С.А. 26.01-01.562
Богаченков А.Н. 26.01-01.184
Богданов А.А. 26.01-01.169
Боголюбовский В.А. 26.01-01.479
Богомолов А.И. 26.01-01.17
Боджона С.Д. 26.01-01.197
Бодрова И.В. 26.01-01.485
Бойко О.В. 26.01-01.376
Болсинов А.В. 26.01-01.12
Болсуновский М.А. 26.01-01.215
Большасова Л.А. 26.01-01.550
Большаков О.С. 26.01-01.413
Большакова К.А. 26.01-01.583
Бонвеч Е.А. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Бондарев Е.А. 26.01-01.602
Боос Э.Э. 26.01-01.396
Бордовицына Т.В. 26.01-01.440
Борина И.В. 26.01-01.602
Борисов Н.В. 26.01-01.406
Борисова Т.Д. 26.01-01.468
Бородин А.Н. 26.01-01.507,
26.01-01.510, 26.01-01.515,
26.01-01.517
Бородина И.А. 26.01-01.131,
26.01-01.135, 26.01-01.136,
26.01-01.141
Бохан В.В. 26.01-01.60
Брагина А.А. 26.01-01.471,
26.01-01.474, 26.01-01.476,
26.01-01.481
Брыков Н.А. 26.01-01.27
Бугаева Л.К. 26.01-01.196
Будилов Д.И. 26.01-01.252
Буднев Н.М. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517,
26.01-01.602
Будрин С.С. 26.01-01.215
Бузаев И.В. 26.01-01.385,
26.01-01.386
Булан А.В. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Буланов В.А. 26.01-01.77,
26.01-01.196, 26.01-01.230
Булгакова Ю.В. 26.01-01.384
Булычев А.А. 26.01-01.462,
26.01-01.475, 26.01-01.479,
26.01-01.480
Булгин И.И. 26.01-01.547
Буничев В.Е. 26.01-01.396
Бунтов М.В. 26.01-01.554
Бургин М.С. 26.01-01.536
Бурдуковская В.Г. 26.01-01.193,
26.01-01.206
Буренин А.В. 26.01-01.188
Бурмистров И.С. 26.01-01.20
Буров В.А. 26.01-01.464
Бусарев В.В. 26.01-01.433
Бусько И.В. 26.01-01.247
Бутыгин Д.А. 26.01-01.92
Буянхшиг Р. 26.01-01.425
Быков А.М. 26.01-01.559,
26.01-01.569, 26.01-01.570,
26.01-01.605
Бычков К.В. 26.01-01.455,
26.01-01.458
Бычков О.П. 26.01-01.263
- В**
- Вагин А.В. 26.01-01.218
Вайман И.А. 26.01-01.508
Валеев А.Ф. 26.01-01.413
Валиахметова О.Ю. 26.01-01.75
Вальтц И.Е. 26.01-01.533
Валявин Г.Г. 26.01-01.408
Ванг Дз. 26.01-01.441
Ванг Х. 26.01-01.438, 26.01-01.441
Ванкевич Р.Е. 26.01-01.192,
26.01-01.248
Ванькова О.С. 26.01-01.39
Васильев А.А. 26.01-01.162
Васильев А.Е. 26.01-01.466
Васильев Е.О. 26.01-01.539,
26.01-01.541
Васильев И.Е. 26.01-01.297
Васильев М.М. 26.01-01.100
Васильев Н.А. 26.01-01.508
Васильева С.Г. 26.01-01.184
Васильков Д.Г. 26.01-01.126
Ватульян А.О. 26.01-01.63
Вдовин В.Ф. 26.01-01.413
Ведайкина О.И. 26.01-01.298
Вениаминов С.С. 26.01-01.423,
26.01-01.424, 26.01-01.436
Верхоглядьев А.Е. 26.01-01.72
Вибе Д.З. 26.01-01.401, 26.01-01.439
Виноградова Т.А. 26.01-01.435
Винокуров А.С. 26.01-01.406
Вировлянский А.Л. 26.01-01.231
Вихлинин А.А. 26.01-01.569
Волк Г.М. 26.01-01.362
Волков А.Ю. 26.01-01.208
Волков В.В. 26.01-01.48
Волков И.М. 26.01-01.526
Волков Н.В. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Волкова А.С. 26.01-01.526
Волкова Н.В. 26.01-01.284,
26.01-01.285
Воловик Г.Е. 26.01-01.609
Волченкова И.С. 26.01-01.317
Волчугов П.А. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Воробьев В.А. 26.01-01.7, 26.01-01.10
Воробьев О.П. 26.01-01.539,
26.01-01.541
Ворович Е.И. 26.01-01.130
Воронин Д.М. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Воронин Ф.А. 26.01-01.554
Воропаев В.А. 26.01-01.434,
26.01-01.450
Воротынцева Ю.С. 26.01-01.599
Вшивцева П.А. 26.01-01.598
Высоцкий А.Г. 26.01-01.466
Вьюгинов С.Н. 26.01-01.182
Вьюгинова А.А. 26.01-01.182
Вэнь Цзянь Ч. 26.01-01.235
- Г**
- Гавриленко С.В. 26.01-01.59
Гаврилов Н.В. 26.01-01.217
Гаврилов Н.М. 26.01-01.101,
26.01-01.106
Гаврилук Ю.М. 26.01-01.531
Гайнанов В.Г. 26.01-01.223
Галимова Р.М. 26.01-01.385,
26.01-01.386
Галстян Т.В. 26.01-01.34
Галутин В.З. 26.01-01.362
Галушина Т.Ю. 26.01-01.449
Гамков Д.М. 26.01-01.554
Ганбаатар Цэнд-Аюуш 26.01-01.340
Гапоненко В.Р. 26.01-01.300
Гармаев Б.З. 26.01-01.300
Гармаш А.Ю. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Гафаров А.Р. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517,
26.01-01.602
Гебрук А.В. 26.01-01.210
Генне Д.В. 26.01-01.178
Герасимов Р.А. 26.01-01.320
Гильфанов М.Р. 26.01-01.564
Гиляров В.Л. 26.01-01.279
Гималтдинов И.К. 26.01-01.75
Глаголевский Ю.В. 26.01-01.405
Гладких В.А. 26.01-01.520
Гладков Л.А. 26.01-01.397
Гладков С.О. 26.01-01.574
Гладкова Н.В. 26.01-01.397
Глебова Г.М. 26.01-01.234
Глухова А.В. 26.01-01.307
Глушенко А.Г. 26.01-01.554
Глушкова Е.В. 26.01-01.47,
26.01-01.376
Глушкова Н.В. 26.01-01.47,
26.01-01.376
Голов А.А. 26.01-01.188, 26.01-01.189
Гололобов И.Л. 26.01-01.423,
26.01-01.436
Голубев А.Ю. 26.01-01.270
Голубев В.И. 26.01-01.278
Голубева И.Ю. 26.01-01.364
Голубков К.В. 26.01-01.602
Голубовский М.П. 26.01-01.527
Голубь А.П. 26.01-01.589
Гончар А.В. 26.01-01.375
Гончаров Е.С. 26.01-01.587
Гончарук Д.Д. 26.01-01.247
Горбачев И.А. 26.01-01.139
Горбачев М.А. 26.01-01.564,
26.01-01.571
Горбачев Р.И. 26.01-01.242
Горбачева Е.А. 26.01-01.508
Горбовской В.С. 26.01-01.256
Горбунова О.А. 26.01-01.377
Горбунова Ю.Г. 26.01-01.139
Горовой С.В. 26.01-01.209,
26.01-01.366
Горулева Л.С. 26.01-01.26
Горшков А.Б. 26.01-01.455,
26.01-01.458
Горшков Н.С. 26.01-01.602
Горшонков А.С. 26.01-01.245,
26.01-01.378
Граве П.И. 26.01-01.341,
26.01-01.346
Градов В.С. 26.01-01.522
Грамович В.В. 26.01-01.351
Гранкин К.Н. 26.01-01.454
Грановский Н.В. 26.01-01.172,
26.01-01.173, 26.01-01.174
Графова Е.О. 26.01-01.291

Гребенюк В.М. **26.01-01.510, 26.01-01.515, 26.01-01.517**
 Гребенцкая О.Н. **26.01-01.425**
 Гресь Е.О. **26.01-01.510, 26.01-01.515, 26.01-01.517**
 Гресь О.А. **26.01-01.510, 26.01-01.515, 26.01-01.517**
 Гресь Т.И. **26.01-01.510, 26.01-01.515, 26.01-01.517, 26.01-01.602**
 Григоренко Е.Е. **26.01-01.588**
 Григорьев А.Г. **26.01-01.208**
 Григорьев В.А. **26.01-01.187**
 Григорьев В.В. **26.01-01.555**
 Григорьев Т.Е. **26.01-01.184**
 Григорьева С.А. **26.01-01.465**
 Гриненко А.Д. **26.01-01.524**
 Гринюк А.А. **26.01-01.510, 26.01-01.515, 26.01-01.517**
 Грищенко В.А. **26.01-01.194**
 Гришин К.А. **26.01-01.585**
 Гришин О.Г. **26.01-01.510, 26.01-01.515, 26.01-01.517**
 Гришина И.А. **26.01-01.37, 26.01-01.126**
 Губайдуллин Д.А. **26.01-01.46**
 Гудкова Т.В. **26.01-01.499**
 Гузовская А.Ч. **26.01-01.189**
 Гулгенов Ч.Ж. **26.01-01.127**
 Гулевский И.В. **26.01-01.369**
 Гульельми А.В. **26.01-01.586**
 Гумеров Р.И. **26.01-01.571**
 Гунбина А.А. **26.01-01.413**
 Гурина А.А. **26.01-01.415**
 Гурова Е.Б. **26.01-01.554**
 Гуряева А.А. **26.01-01.369**
 Гусев А.В. **26.01-01.531**
 Гусев А.С. **26.01-01.380**
 Гусев В.А. **26.01-01.78, 26.01-01.81, 26.01-01.272**
 Гусев О.И. **26.01-01.33**
 Гусева Е.К. **26.01-01.278**
 Гусева Е.Н. **26.01-01.496**
 Гусейн-заде Н.Г. **26.01-01.126**

Д

Давиденкова-Хмара Е.Ш. **26.01-01.322**
 Давыдов А.М. **26.01-01.126**
 Давыдова Е.А. **26.01-01.151**
 Дамаскинская Е.Е. **26.01-01.279**
 Дамдинов Б.Б. **26.01-01.108**
 Данилов А.В. **26.01-01.71**
 Данилов А.Д. **26.01-01.463, 26.01-01.465**
 Данилов В.Н. **26.01-01.155**
 Даньдань Су **26.01-01.484**
 Даринский А.Н. **26.01-01.129, 26.01-01.134**
 Дацук Е.Р. **26.01-01.144, 26.01-01.145**
 Дворницки Р. **26.01-01.602**
 Дегилевич Е.А. **26.01-01.66**
 Дегтярев А.Б. **26.01-01.247**
 Дедиков С.Ю. **26.01-01.539**
 Дежкунов Н.В. **26.01-01.86**
 Демидова Т.В. **26.01-01.555**
 Демин А.Г. **26.01-01.501**
 Демин О.В. **26.01-01.554**
 Демьянов М.А. **26.01-01.273, 26.01-01.275**
 Денисов В.И. **26.01-01.598**
 Денисов С.Л. **26.01-01.268**
 Дерябин М.С. **26.01-01.146, 26.01-01.236**

Джапшуев Д.Д. **26.01-01.508**
 Джатдоев Т.А. **26.01-01.508**
 Джилкибаев Ж.А.М. **26.01-01.602**
 Дзапарова И.М. **26.01-01.508**
 Дзедобоев С.О. **26.01-01.597**
 Дзын С. **26.01-01.438, 26.01-01.441**
 Дик В.Я. **26.01-01.602**
 Дмитревский Н.Н. **26.01-01.222, 26.01-01.225**
 Дмитриев А.Л. **26.01-01.280**
 Дмитриев К.В. **26.01-01.185, 26.01-01.325, 26.01-01.334, 26.01-01.351**
 Дмитриев С.В. **26.01-01.162**
 Дмитриенко Е.С. **26.01-01.443**
 Добрынин В.А. **26.01-01.250**
 Додин А.В. **26.01-01.608**
 Долгер А.Р. **26.01-01.45, 26.01-01.303**
 Долгих Г.И. **26.01-01.215**
 Долгих С.Г. **26.01-01.215**
 Долгов А.Д. **26.01-01.512**
 Долгополов А.В. **26.01-01.48**
 Дольников Г.Г. **26.01-01.593**
 Домогацкий Г.В. **26.01-01.602**
 Донченко Д.В. **26.01-01.470**
 Дорошенко А.А. **26.01-01.602**
 Дорошкевич А.Г. **26.01-01.607**
 Дранников А.В. **26.01-01.233**
 Драченко В.Н. **26.01-01.186, 26.01-01.286**
 Дроздов С.А. **26.01-01.539**
 Дроздова Е.И. **26.01-01.152**
 Дружинин Я.М. **26.01-01.269**
 Дружинина О.В. **26.01-01.69, 26.01-01.292**
 Дубинин Е.П. **26.01-01.479**
 Дубинский А.Ю. **26.01-01.35, 26.01-01.589**
 Дудник А.А. **26.01-01.406**
 Дудов С.В. **26.01-01.194**
 Дудов С.И. **26.01-01.15**
 Дунаева А.Н. **26.01-01.487**
 Дьячковский А.С. **26.01-01.30**
 Дячок А.Н. **26.01-01.510, 26.01-01.515, 26.01-01.517, 26.01-01.602**

Е

Евдокимов А.А. **26.01-01.323**
 Евдокимов Р.А. **26.01-01.489**
 Евдокимова Е.В. **26.01-01.97**
 Егоров И.М. **26.01-01.468**
 Егоров С.Б. **26.01-01.242**
 Егоров Ю.Г. **26.01-01.610**
 Егорова М.А. **26.01-01.350**
 Ежикова Е.В. **26.01-01.148**
 Екимов Е.А. **26.01-01.152**
 Еленин Л.В. **26.01-01.425**
 Елжов Т.В. **26.01-01.602**
 Емелина М.А. **26.01-01.5**
 Емельяненко В.В. **26.01-01.534, 26.01-01.548**
 Емельянов В.Н. **26.01-01.49**
 Еремин А.А. **26.01-01.47, 26.01-01.323**
 Ермаков А.Б. **26.01-01.413**
 Ерманюк Е.В. **26.01-01.217**
 Ермолаев Ю.Г. **26.01-01.88, 26.01-01.89**
 Ерофеев А.В. **26.01-01.172, 26.01-01.173, 26.01-01.174**
 Ерофеев В.И. **26.01-01.74, 26.01-01.92, 26.01-01.163**
 Есинова Д.А. **26.01-01.356**

Есинов И.Б. **26.01-01.79, 26.01-01.336**
 Ефремова Е.С. **26.01-01.260**
 Ефремова П.Д. **26.01-01.564**

Ж

Жабин В.С. **26.01-01.485**
 Жарков Д.А. **26.01-01.115**
 Жильцов К.Н. **26.01-01.30**
 Жильчук И.А. **26.01-01.9**
 Жостков Р.А. **26.01-01.55, 26.01-01.115**
 Жужулина Е.А. **26.01-01.430, 26.01-01.431, 26.01-01.490**
 Жуйко С.В. **26.01-01.447**
 Жуков А.Г. **26.01-01.550**
 Жукова В.О. **26.01-01.313, 26.01-01.314**
 Жумагулов А.Е. **26.01-01.434**
 Журавлев В.А. **26.01-01.198**
 Журавлева К.В. **26.01-01.508**
 Журов Д.П. **26.01-01.507, 26.01-01.510, 26.01-01.515, 26.01-01.517**

З

Заболотских М.В. **26.01-01.409**
 Заборов Д.Н. **26.01-01.602**
 Завьялов С.И. **26.01-01.602**
 Загородников А.В. **26.01-01.510, 26.01-01.515, 26.01-01.517**
 Загорский Г.А. **26.01-01.468**
 Зайнутдинова Д.А. **26.01-01.377**
 Зайцев А.А. **26.01-01.2К**
 Зайцев Б.Д. **26.01-01.131, 26.01-01.135, 26.01-01.136, 26.01-01.141**
 Зайцев В.В. **26.01-01.162, 26.01-01.561**
 Зайцев В.Ю. **26.01-01.333**
 Зайцев М.Ю. **26.01-01.264**
 Залиханов М.Ч. **26.01-01.6**
 Запеевалов А.С. **26.01-01.216**
 Зарипов Р.Г. **26.01-01.46**
 Заславский В.Ю. **26.01-01.203**
 Заславский Ю.М. **26.01-01.203**
 Захаров А.В. **26.01-01.593**
 Захаров А.И. **26.01-01.429**
 Захваткин М.В. **26.01-01.425**
 Звездов Д.Ю. **26.01-01.602**
 Зверев А.С. **26.01-01.223**
 Зверев А.Я. **26.01-01.271**
 Зелёный Л.М. **26.01-01.35, 26.01-01.588**
 Землина А.О. **26.01-01.411**
 Зенин О.И. **26.01-01.511**
 Зиминова К.Д. **26.01-01.146, 26.01-01.236**
 Зинин П.В. **26.01-01.168, 26.01-01.356**
 Зинченко И.И. **26.01-01.413**
 Зиракашвили В.Н. **26.01-01.510, 26.01-01.515, 26.01-01.517**
 Зобов К.В. **26.01-01.300**
 Золотарёв Р.В. **26.01-01.417, 26.01-01.549**
 Зотов Д.И. **26.01-01.229, 26.01-01.326**
 Зубарев Н.М. **26.01-01.76**
 Зубарева А.М. **26.01-01.565**

И

- Ибрагимов М.Р. 26.01-01.261
Иванов А.Л. 26.01-01.420,
26.01-01.426
Иванов А.О. 26.01-01.12
Иванов Б.А. 26.01-01.497
Иванов В.А. 26.01-01.126,
26.01-01.420, 26.01-01.426
Иванов В.Н. 26.01-01.11
Иванов М.А. 26.01-01.496,
26.01-01.500
Иванов М.И. 26.01-01.71
Иванов М.П. 26.01-01.215
Иванова А.А. 26.01-01.91
Иванова А.Д. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Иванова А.Л. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Иванюхин А.В. 26.01-01.505
Ивашина Ю.С. 26.01-01.471,
26.01-01.474, 26.01-01.476
Игнатъев Ю.Г. 26.01-01.595
Извекова Ю.Н. 26.01-01.35,
26.01-01.281, 26.01-01.282
Изосимова М.Ю. 26.01-01.117
Ильгамов М.А. 26.01-01.58
Ильменков С.Л. 26.01-01.295
Ильяс А.Б. 26.01-01.338,
26.01-01.341
Илюшин М.А. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Имаева Э.Ш. 26.01-01.371,
26.01-01.372
Ионичева А.П. 26.01-01.477
Ипатов С.И. 26.01-01.502,
26.01-01.503
Исаев А.В. 26.01-01.233
Исаков Ю.И. 26.01-01.309
Истомин Д.А. 26.01-01.260
Ихсанов Н.Р. 26.01-01.532
Ищенко А.Н. 26.01-01.30
- К**
Кабанов С.И. 26.01-01.381
Кабанова С.И. 26.01-01.156
Кабонен А.В. 26.01-01.291
Кадрев А.В. 26.01-01.354
Казакевич Ю.В. 26.01-01.452
Казakov А.Ю. 26.01-01.59
Казанский А.С. 26.01-01.172,
26.01-01.173
Казарова А.Ю. 26.01-01.231
Кайдановский М.Н. 26.01-01.576
Каламанов В.Г. 26.01-01.591
Калашников Б.А. 26.01-01.60
Калинкин А.Д. 26.01-01.546
Калинчук В.В. 26.01-01.130
Калишин А.С. 26.01-01.5,
26.01-01.468
Калмыков Н.Н. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Каляшова М.Е. 26.01-01.559
Камардин А.П. 26.01-01.520
Каменев С.И. 26.01-01.241
Каменских А.О. 26.01-01.128
Каморный А.В. 26.01-01.240
Канев Н.Г. 26.01-01.45, 26.01-01.164,
26.01-01.289, 26.01-01.296,
26.01-01.303, 26.01-01.312,
26.01-01.316, 26.01-01.317,
26.01-01.318
Каплуненко Д.Д. 26.01-01.239
Карабутов А.А. 26.01-01.152,
26.01-01.391
- Караваев М.А. 26.01-01.379
Караваева В.Г. 26.01-01.349
Карзова М.М. 26.01-01.53,
26.01-01.102, 26.01-01.358,
26.01-01.389
Карпиков И.С. 26.01-01.508
Карпов В.В. 26.01-01.28, 26.01-01.31
Карпов И.А. 26.01-01.161
Карпов Н.В. 26.01-01.490
Карташева А.А. 26.01-01.593
Карташова А.П. 26.01-01.452
Касьянов Д.А. 26.01-01.146,
26.01-01.236
Катин И.О. 26.01-01.366
Кауц В.Л. 26.01-01.578
Кацнельсон Б.Г. 26.01-01.195
Кашкарова М.В. 26.01-01.120
Квашеникова А.В. 26.01-01.79,
26.01-01.336
Квашин Н.Л. 26.01-01.531
Кебкал В.К. 26.01-01.602
Кебкал К.Г. 26.01-01.602
Кедрова Г.Е. 26.01-01.339
Кейзеров С.И. 26.01-01.396
Киндин В.В. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Киргизов В.В. 26.01-01.470
Киреев А.В. 26.01-01.369
Кириллов А.А. 26.01-01.513
Кириллова Е.М. 26.01-01.93
Кириллова И.В. 26.01-01.64,
26.01-01.257
Кириловский С.В. 26.01-01.51,
26.01-01.94
Кириченко А.Н. 26.01-01.242
Кириченко К.Е. 26.01-01.522
Кирпичников В.Ю. 26.01-01.13,
26.01-01.14
Кирсанова М.С. 26.01-01.401,
26.01-01.539
Кирюхин С.Н. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Киселев А.В. 26.01-01.594
Киселев Н.Н. 26.01-01.431,
26.01-01.490
Киселев О.Н. 26.01-01.47
Китаева М.А. 26.01-01.545
Кламель М. 26.01-01.569
Класс Е.В. 26.01-01.418
Клачков В.А. 26.01-01.382
Клеймёнов В.В. 26.01-01.521
Клешнев Е.А. 26.01-01.341,
26.01-01.347
Климачков Д.А. 26.01-01.34,
26.01-01.191
Клименко Н.Ф. 26.01-01.508
Клюшников В.А. 26.01-01.375
Клячин Б.И. 26.01-01.190
Князева К.С. 26.01-01.70
Ковадло П.Г. 26.01-01.522
Ковалева Д.А. 26.01-01.453,
26.01-01.524
Ковалева М.А. 26.01-01.82
Ковалёва М.А. 26.01-01.159,
26.01-01.160
Коваленко А.С. 26.01-01.220
Ковальчук М.В. 26.01-01.21
Ковзель Д.Г. 26.01-01.194,
26.01-01.195, 26.01-01.197
Ковылин А.В. 26.01-01.370
Кожарин Н.Ю. 26.01-01.105
Кожин В.А. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517,
26.01-01.602
Козлов В.В. 26.01-01.12
- Козлов И.А. 26.01-01.9
Козочкин М.П. 26.01-01.380,
26.01-01.382
Козьмин С.Г. 26.01-01.233
Койгеров А.С. 26.01-01.137
Кокоулин Р.П. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Кокшайский А.И. 26.01-01.80,
26.01-01.113, 26.01-01.117
Колбин А.И. 26.01-01.406,
26.01-01.543
Колбин М.М. 26.01-01.602
Колесниченко А.В. 26.01-01.506
Колесов В.В. 26.01-01.139,
26.01-01.143
Колесов Д.А. 26.01-01.163
Кוליгаев С.О. 26.01-01.602
Колмаков А.В. 26.01-01.302
Колоколов И.В. 26.01-01.20
Колосов М.А. 26.01-01.470
Колосов Н.И. 26.01-01.515,
26.01-01.517
Колпачева Н.А. 26.01-01.112,
26.01-01.357, 26.01-01.395
Кольга В.В. 26.01-01.415
Комаровский К.О. 26.01-01.81
Комкин А.И. 26.01-01.288,
26.01-01.289, 26.01-01.296,
26.01-01.316
Комков А.В. 26.01-01.421
Компаниец К.Г. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Кондратов А.Д. 26.01-01.464
Кондратьев Б.П. 26.01-01.529
Конишев К.В. 26.01-01.602
Коннова Е.О. 26.01-01.53,
26.01-01.84, 26.01-01.394
Коновалов В.Е. 26.01-01.59
Коновалов В.Н. 26.01-01.208,
26.01-01.221
Коношенко В.П. 26.01-01.554
Константинова А.В. 26.01-01.463,
26.01-01.465
Константинова М.Г. 26.01-01.112,
26.01-01.395
Копнин С.И. 26.01-01.35,
26.01-01.281, 26.01-01.282,
26.01-01.590, 26.01-01.592
Копылов Е.А. 26.01-01.550
Копылова В.В. 26.01-01.456
Копьев В.Ф. 26.01-01.262,
26.01-01.263, 26.01-01.264,
26.01-01.267, 26.01-01.273
Корнев В.В. 26.01-01.15
Корнухов В.С. 26.01-01.529
Коробов А.И. 26.01-01.80,
26.01-01.117
Коробов В.А. 26.01-01.204
Коробченко А.В. 26.01-01.602
Корольков З.А. 26.01-01.208,
26.01-01.221
Коростелева Е.Е. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Корогаев В.Н. 26.01-01.224
Корсков И.В. 26.01-01.230
Корунов А.О. 26.01-01.256,
26.01-01.272
Корчагина Е.П. 26.01-01.404
Косарев О.И. 26.01-01.36
Косевич Ю.А. 26.01-01.129
Косинов А.Д. 26.01-01.88,
26.01-01.89
Коснырева М.В. 26.01-01.462,
26.01-01.479, 26.01-01.480
Костенко И.С. 26.01-01.50

- Костив А.Е. 26.01-01.352
 Костин М.С. 26.01-01.57
 Костылев К.А. 26.01-01.245,
 26.01-01.378
 Котельникова Л.М. 26.01-01.175
 Котляр П.Е. 26.01-01.167
 Котов В.М. 26.01-01.150,
 26.01-01.170
 Котухов А.В. 26.01-01.86
 Кохирова Г.И. 26.01-01.550
 Кочина О.В. 26.01-01.401
 Кошечкин А.П. 26.01-01.602
 Кошкина Д.А. 26.01-01.34
 Кошоридзе С.И. 26.01-01.122
 Кравцова А.Ю. 26.01-01.120
 Кравченко Е.А. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Кравчук К.С. 26.01-01.133
 Красильников А.М. 26.01-01.413
 Красильников А.С. 26.01-01.486
 Красненко Н.П. 26.01-01.254,
 26.01-01.255
 Краснов В.В. 26.01-01.542
 Краснова В.В. 26.01-01.210
 Крашенинников С.Ю. 26.01-01.274
 Кривонос С.А. 26.01-01.569
 Кривченко А.В. 26.01-01.554
 Кронрод В.А. 26.01-01.487
 Крохмаль А.А. 26.01-01.385,
 26.01-01.386
 Круглов М.В. 26.01-01.602
 Кругов М.А. 26.01-01.428
 Крусанова Н.Л. 26.01-01.429
 Крушинский В.В. 26.01-01.411
 Крылова А.А. 26.01-01.467
 Крылова Е.Ю. 26.01-01.29
 Крюков А.П. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Кубриков М.В. 26.01-01.415
 Кувшинов Д.А. 26.01-01.291
 Кудаева Ф.Х. 26.01-01.331,
 26.01-01.332
 Кудашев Е.Б. 26.01-01.227
 Куджаев А.У. 26.01-01.508
 Кудлак В.В. 26.01-01.416
 Кудрявцев А.А. 26.01-01.388
 Кудрявцев В.В. 26.01-01.576
 Кудряшова С.А. 26.01-01.217
 Кузин С.П. 26.01-01.446
 Кузнецов В.Б. 26.01-01.422,
 26.01-01.435, 26.01-01.495
 Кузнецов В.Д. 26.01-01.606
 Кузнецов В.М. 26.01-01.554
 Кузнецов Г.Н. 26.01-01.186,
 26.01-01.211, 26.01-01.212,
 26.01-01.232, 26.01-01.234,
 26.01-01.286
 Кузнецов И.А. 26.01-01.593
 Кузнецов К.М. 26.01-01.462,
 26.01-01.472, 26.01-01.475,
 26.01-01.480
 Кузнецов С.В. 26.01-01.44,
 26.01-01.96, 26.01-01.124,
 26.01-01.270
 Кузнецов С.Ю. 26.01-01.433
 Кузнецова А.Д. 26.01-01.294
 Кузнецова И.Е. 26.01-01.132,
 26.01-01.139, 26.01-01.144,
 26.01-01.145
 Кузнецова М.В. 26.01-01.554
 Кузнецова Т.Г. 26.01-01.360,
 26.01-01.364
 Кузьменко П.А. 26.01-01.284,
 26.01-01.285
 Кузьмин А.К. 26.01-01.467
 Кузьмин М.В. 26.01-01.169
 Кузьмичев Л.А. 26.01-01.510
 Кузьмичев Л.А. 26.01-01.515,
 26.01-01.517
 Кукушкин А.В. 26.01-01.460,
 26.01-01.461
 Кукушкин Д.Е. 26.01-01.413
 Кулепов В.Ф. 26.01-01.602
 Куликов А.А. 26.01-01.602
 Куликов В.А. 26.01-01.477
 Куличков С.Н. 26.01-01.101,
 26.01-01.106, 26.01-01.249
 Кульков В.М. 26.01-01.610
 Кулькова А.С. 26.01-01.379
 Куплевацкий Д.В. 26.01-01.368
 Купрейчик М.И. 26.01-01.147,
 26.01-01.148, 26.01-01.149
 Купряков Ю.А. 26.01-01.455,
 26.01-01.458
 Куражова А.В. 26.01-01.342
 Курашкин К.В. 26.01-01.183
 Курбатов А.Н. 26.01-01.381
 Курбатов Г.А. 26.01-01.420,
 26.01-01.426
 Курдяева Ю.А. 26.01-01.101,
 26.01-01.106
 Курейчик В.М. 26.01-01.397
 Куреня А.Н. 26.01-01.508
 Курьянова И.В. 26.01-01.329
 Кусков О.Л. 26.01-01.487
 Кутюва Е.А. 26.01-01.456
 Кутуза И.Б. 26.01-01.168
 Кшевевский С.П. 26.01-01.101,
 26.01-01.106
 Кьявасса А. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
- ### Л
- Лаврова М.В. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Лагутин А.А. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Ладыченко С.Ю. 26.01-01.239
 Лаптев А.Ю. 26.01-01.85
 Лапшов И.Ю. 26.01-01.554
 Ларионова А.И. 26.01-01.556
 Ларичев В.А. 26.01-01.208,
 26.01-01.221
 Ларченкова Т.И. 26.01-01.539,
 26.01-01.607
 Лбов А.А. 26.01-01.182
 Лебедев А.В. 26.01-01.114
 Лебедев В.В. 26.01-01.20
 Левин В.В. 26.01-01.554
 Левин В.М. 26.01-01.356
 Левкина П.А. 26.01-01.449
 Левченко Н.Р. 26.01-01.57
 Левшаков С.А. 26.01-01.599
 Легуша Ф.Ф. 26.01-01.305
 Ледянкина О.А. 26.01-01.26
 Леженин А.А. 26.01-01.522
 Лекомцева А.А. 26.01-01.456
 Лемешев Ю.Е. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517,
 26.01-01.602
 Леоненко Д.В. 26.01-01.171
 Лепетков Д.Р. 26.01-01.41,
 26.01-01.42
 Леснов И.В. 26.01-01.413
 Лесняк И.Ю. 26.01-01.59
 Лесонен Д.Н. 26.01-01.208,
 26.01-01.221
 Летнер О.Н. 26.01-01.449
 Летунов А.А. 26.01-01.126
 Лехт Е.Е. 26.01-01.542
 Ли Г. 26.01-01.223
 Ли Ю. 26.01-01.169
 Лившиц А.Я. 26.01-01.308,
 26.01-01.310, 26.01-01.312,
 26.01-01.313, 26.01-01.314
 Лидванский А.С. 26.01-01.508
 Линович В.С. 26.01-01.471
 Липилин В.А. 26.01-01.554
 Лисенков Н.М. 26.01-01.305
 Лисенкова Е.Е. 26.01-01.74
 Лисин А.А. 26.01-01.201
 Лисин Д.В. 26.01-01.603
 Лисовский Е.В. 26.01-01.69
 Лобанов А.А. 26.01-01.248
 Лобанов В.Б. 26.01-01.239
 Ловягин Н.Ю. 26.01-01.400
 Логвиненко В.П. 26.01-01.126
 Лойко А.А. 26.01-01.439
 Ломоносов А.М. 26.01-01.168
 Лоренц К.А. 26.01-01.491
 Лосев Г.И. 26.01-01.228
 Лосева Т.В. 26.01-01.587
 Лубсандоржиев Б.К. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.516,
 26.01-01.517
 Лубсандоржиев Н.Б. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Луговая М.А. 26.01-01.112,
 26.01-01.357, 26.01-01.395
 Луговой А.А. 26.01-01.531
 Лузанов В.А. 26.01-01.140
 Луканов А.Д. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Лукин Г.С. 26.01-01.393
 Лукманов В.Р. 26.01-01.528
 Луньков А.А. 26.01-01.187,
 26.01-01.195, 26.01-01.197,
 26.01-01.205, 26.01-01.210
 Лутовинов А.А. 26.01-01.554
 Лутовинов А.И. 26.01-01.169
 Лыгин И.В. 26.01-01.462,
 26.01-01.472, 26.01-01.473,
 26.01-01.475, 26.01-01.478,
 26.01-01.480
 Лыкасов А. 26.01-01.160
 Львов К.П. 26.01-01.200
 Ляксо Е.Е. 26.01-01.341,
 26.01-01.343, 26.01-01.347,
 26.01-01.364
 Ляхов А.Н. 26.01-01.587
 Ляш А.Н. 26.01-01.593
 Ляшков А.С. 26.01-01.214
- ### М
- Мазидуллин Д.Н. 26.01-01.371
 Майкл Г.Г. 26.01-01.486
 Макарьянц Г.М. 26.01-01.61
 Максимов Г.А. 26.01-01.208,
 26.01-01.219, 26.01-01.221
 Максимов Ф.А. 26.01-01.575
 Малаева В.В. 26.01-01.352
 Малахов С.Д. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Малашенко А.Е. 26.01-01.246
 Малеханов А.И. 26.01-01.201,
 26.01-01.202
 Малиновский А.М. 26.01-01.607
 Малова Х.В. 26.01-01.588
 Мальхина О.И. 26.01-01.61
 Малютин В.А. 26.01-01.455,
 26.01-01.458
 Мамонтова А.Д. 26.01-01.316
 Манаков С.А. 26.01-01.114

Мансфельд А.Д. 26.01-01.172,
26.01-01.173, 26.01-01.174
Мансфельд М.А. 26.01-01.413
Манульчев Д.С. 26.01-01.194
Манучарян Г.Д. 26.01-01.582
Манцевич С.Н. 26.01-01.147,
26.01-01.149
Маняхин И.А. 26.01-01.178,
26.01-01.179
Марголина И.Л. 26.01-01.289,
26.01-01.296
Маркелова Т.В. 26.01-01.38
Маркина М.А. 26.01-01.413
Марков А.В. 26.01-01.554
Марков И.Ю. 26.01-01.166
Марковская Д.М. 26.01-01.304
Мартынов А.Г. 26.01-01.139
Марухно А.С. 26.01-01.413
Масленников А.Л. 26.01-01.416
Масленников А.М. 26.01-01.28,
26.01-01.31
Масленникова Н.А. 26.01-01.565
Матвеев А.Ю. 26.01-01.341
Матвеев Е.В. 26.01-01.488
Матвеев С.В. 26.01-01.12
Матвеева Т.А. 26.01-01.383
Матвиенко Ю.В. 26.01-01.240
Матвиенко Ю.Г. 26.01-01.297
Матрохин А.А. 26.01-01.453
Махутов Н.А. 26.01-01.297
Машонкина Л.И. 26.01-01.566
Машошин А.И. 26.01-01.238,
26.01-01.244
Медведев П.С. 26.01-01.564
Медведев Ю.В. 26.01-01.125
Мелентьев В.В. 26.01-01.107
Мельканович В.С. 26.01-01.238,
26.01-01.244
Мельник М.Н. 26.01-01.588
Мельников А.В. 26.01-01.573
Мельников Н.П. 26.01-01.121
Мёрзлый А.М. 26.01-01.467
Мершина Е.А. 26.01-01.335
Мешкова О.В. 26.01-01.482
Мещеряков А.И. 26.01-01.37,
26.01-01.126
Мещеряков Р.В. 26.01-01.330
Мигранов М.Ш. 26.01-01.380
Мизёв А.И. 26.01-01.110
Микушев В.М. 26.01-01.103
Милешин В.И. 26.01-01.269
Мильков М.Г. 26.01-01.113,
26.01-01.148
Милюков В.К. 26.01-01.597
Минаев П.Ю. 26.01-01.552,
26.01-01.557
Мингалев И.В. 26.01-01.588
Мингалев О.В. 26.01-01.588
Мингалева А.О. 26.01-01.468
Мицлигарев В.Т. 26.01-01.3,
26.01-01.4, 26.01-01.7,
26.01-01.462
Минчук В.С. 26.01-01.86
Миргазов Р.Р. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517,
26.01-01.602
Миронов А.П. 26.01-01.550,
26.01-01.597
Миронов М.А. 26.01-01.83,
26.01-01.164
Миронов С.Г. 26.01-01.94
Мирошниченко И.Б. 26.01-01.527
Митыпов Ч.М. 26.01-01.108
Михайлов Е.Н. 26.01-01.573
Михайлова О.И. 26.01-01.508

Михалев Е.С. 26.01-01.80
Михальченко А.О. 26.01-01.607
Михнюк А.Н. 26.01-01.186,
26.01-01.286
Мишакин В.В. 26.01-01.375
Мишакина А.В. 26.01-01.558
Мищенко А.С. 26.01-01.12
Мкртчян А.А. 26.01-01.552
Мкртычев О.В. 26.01-01.321
Могилевич Л.И. 26.01-01.97
Модестов К.А. 26.01-01.65
Можаев В.Г. 26.01-01.142
Моисеев Ю.А. 26.01-01.562
Монсева А.В. 26.01-01.404,
26.01-01.410
Молотов И.Е. 26.01-01.425
Молчанов П.А. 26.01-01.246
Мольков С.В. 26.01-01.554
Монхоев Р.Д. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Моргунов Ю.Н. 26.01-01.188,
26.01-01.189
Морозов А.В. 26.01-01.478
Мотрина Е.Д. 26.01-01.406
Мошкалев В.Г. 26.01-01.429
Мурсенкова И.В. 26.01-01.91
Муртазов А.К. 26.01-01.485
Мурыгин Б.С. 26.01-01.513
Мусаева Р.Н. 26.01-01.288
Мустафина Д.А. 26.01-01.383
Муханов П.Ю. 26.01-01.54

Н

Набиуллина Д.И. 26.01-01.385
Наговицын Ю.А. 26.01-01.556
Назаров Л.Е. 26.01-01.23
Наймарк О.Б. 26.01-01.86
Накоряков П.В. 26.01-01.105
Налимова Т.Г. 26.01-01.284,
26.01-01.285
Нарзиев М. 26.01-01.437
Нароенков С.А. 26.01-01.442,
26.01-01.526
Нартов Ф.А. 26.01-01.102
Насибуллаева Э.Ш. 26.01-01.43
Наумов Д.В. 26.01-01.602
Невежин В.П. 26.01-01.17
Невечанная Т.О. 26.01-01.287
Невзорова И.В. 26.01-01.520
Недбай А.И. 26.01-01.123
Недбайлов К.О. 26.01-01.126
Недоспасов И.А. 26.01-01.104,
26.01-01.142, 26.01-01.144
Нестеров В.А. 26.01-01.178
Неусыпин К.А. 26.01-01.484
Нефедов Д.Ю. 26.01-01.103
Нец П.А. 26.01-01.323
Никитин П.А. 26.01-01.154
Никитов С.А. 26.01-01.23,
26.01-01.119, 26.01-01.140
Никифоров О.В. 26.01-01.467
Николаев А.С. 26.01-01.341,
26.01-01.345, 26.01-01.346,
26.01-01.602
Николаева Е.А. 26.01-01.571
Николаевцев В.А. 26.01-01.56,
26.01-01.277
Никулин В.В. 26.01-01.513
Новик А.А. 26.01-01.182,
26.01-01.182, 26.01-01.182
Новиков Д.И. 26.01-01.607
Новиков Д.О. 26.01-01.226,
26.01-01.293
Новикова Е.В. 26.01-01.521

Новичонок А.О. 26.01-01.450

О

Овсученко А.Н. 26.01-01.597
Овчаренко В.В. 26.01-01.215
Овчинникова Е.П. 26.01-01.561
Огородникова Е.А. 26.01-01.360
Одина Н.И. 26.01-01.80, 26.01-01.117
Одинцов С.Л. 26.01-01.520
Ойнац А.В. 26.01-01.250
Окадьев А.А. 26.01-01.8
Окороков М.В. 26.01-01.116
Окунева Э.А. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Олейник О.С. 26.01-01.534
Омельчук А.А. 26.01-01.432
Орешкин С.И. 26.01-01.531
Орлов Д.О. 26.01-01.12
Орлова О.А. 26.01-01.48
Осипова А.А. 26.01-01.556
Осипова А.М. 26.01-01.607
Осипова Л.Г. 26.01-01.585
Осипова Э.А. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Осминкина Л.О. 26.01-01.388
Остриков Е.А. 26.01-01.380
Остриков Н.Н. 26.01-01.268
Очелков Ю.П. 26.01-01.464

П

Павленко Е.П. 26.01-01.543
Павликова М.И. 26.01-01.344
Павлов Г.И. 26.01-01.105,
26.01-01.377
Павлов И.С. 26.01-01.162
Павлов С.Р. 26.01-01.431
Павлова Т.А. 26.01-01.493
Паймушин В.Н. 26.01-01.73
Палёнов А.Ю. 26.01-01.471
Пан А. 26.01-01.510, 26.01-01.515
Панарин С.С. 26.01-01.564
Панкратов И.А. 26.01-01.523
Панов А.Д. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Панов В.Н. 26.01-01.11
Панферов С.В. 26.01-01.472
Паньков Л.В. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Панькова Н.В. 26.01-01.110
Папкова А.С. 26.01-01.199
Папкова Ю.И. 26.01-01.199
Парфёнов К.О. 26.01-01.607
Пахомов Ю.В. 26.01-01.566
Пахорукоев А.Л. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Пеньков К.В. 26.01-01.60
Перевалова И.А. 26.01-01.602
Перепелкин В.Г. 26.01-01.249
Перетокин А.В. 26.01-01.307,
26.01-01.308, 26.01-01.312,
26.01-01.314, 26.01-01.317
Пермякова Т.А. 26.01-01.403
Персонова А.А. 26.01-01.456
Пестова П.А. 26.01-01.358,
26.01-01.389
Петков В.Б. 26.01-01.508
Петников В.Г. 26.01-01.205
Петров А.А. 26.01-01.292
Петров А.Е. 26.01-01.570
Петров Д.В. 26.01-01.430
Петров Е.А. 26.01-01.175
Петров М.И. 26.01-01.169
Петров О.Ф. 26.01-01.100

- Петров П.С. 26.01-01.189
 Петрова Е.В. 26.01-01.316
 Петрова Е.И. 26.01-01.112,
 26.01-01.357, 26.01-01.395
 Петронюк Ю.С. 26.01-01.184
 Петросян А.С. 26.01-01.34,
 26.01-01.191
 Петрукович А.А. 26.01-01.467
 Петрухин А.А. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Петухов Д.П. 26.01-01.602
 Пешков Р.А. 26.01-01.368
 Пигарев И.Н. 26.01-01.359
 Пилипенко С.В. 26.01-01.568,
 26.01-01.607
 Пирозерский А.Л. 26.01-01.123
 Писарев П.В. 26.01-01.299
 Питеримова М.В. 26.01-01.89
 Плакитина К.В. 26.01-01.401
 Плисковский Е.Н. 26.01-01.602
 Плотников А.А. 26.01-01.459
 Поветин Д.А. 26.01-01.304
 Подгрудков Д.А. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Поддубный И.А. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Подлесный А.В. 26.01-01.250
 Подлесный Е.И. 26.01-01.508
 Позаненко А.С. 26.01-01.450,
 26.01-01.552, 26.01-01.557
 Позднухов Н.А. 26.01-01.508
 Поздняков А.Ю. 26.01-01.423,
 26.01-01.436
 Позднякова Д.Д. 26.01-01.276
 Ползикова Н.И. 26.01-01.140
 Поликарпова Н.В. 26.01-01.153
 Померанцев Н.Д. 26.01-01.337
 Пономарчук Е.М. 26.01-01.387
 Попандоуло Н.А. 26.01-01.440
 Попеленский Ф.Ю. 26.01-01.12
 Попель С.И. 26.01-01.35,
 26.01-01.281, 26.01-01.282,
 26.01-01.589, 26.01-01.590,
 26.01-01.592, 26.01-01.593
 Поплавская Т.В. 26.01-01.51,
 26.01-01.94
 Попов А.А. 26.01-01.411
 Попов В.С. 26.01-01.97
 Попов М.В. 26.01-01.535,
 26.01-01.536
 Попов М.Е. 26.01-01.126
 Попов М.Ю. 26.01-01.168
 Попов О.Е. 26.01-01.249,
 26.01-01.252
 Попов С.М. 26.01-01.531
 Попов Ю.Н. 26.01-01.301,
 26.01-01.305
 Попова Е.В. 26.01-01.97
 Попова Е.Г. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Постников Е.Б. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Постнов К.А. 26.01-01.565,
 26.01-01.608
 Потанин Ю.Н. 26.01-01.467
 Потапов А.С. 26.01-01.586
 Потапов В.В. 26.01-01.329,
 26.01-01.337
 Потапова Р.К. 26.01-01.329,
 26.01-01.337
 Потапов С.Ю. 26.01-01.432
 Потоцкая Т.А. 26.01-01.470
 Почечутова И.А. 26.01-01.353
 Преснов Д.А. 26.01-01.220,
 26.01-01.276
 Присташ А.М. 26.01-01.554
 Пронин А.А. 26.01-01.224
 Пронин М.А. 26.01-01.48
 Проничева А.Ю. 26.01-01.339
 Просвиряков Е.Ю. 26.01-01.26
 Просин В.В. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Прохоров М.Е. 26.01-01.429
 Прямыцын В.Н. 26.01-01.9
 Пугачев С.И. 26.01-01.374
 Пузакина А.К. 26.01-01.36
 Пузин В.Б. 26.01-01.441
 Пузов Ю.А. 26.01-01.11
 Пупырев П.Д. 26.01-01.104
 Пушкин А.А. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Пширков М.С. 26.01-01.601
- Р**
- Рабовский А.Е. 26.01-01.573
 Раевский А.О. 26.01-01.140
 Раевский М.А. 26.01-01.193,
 26.01-01.206
 Разумов А.Ю. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Разумов И.А. 26.01-01.260
 Райкин Р.И. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Райков А.А. 26.01-01.400
 Раков А.С. 26.01-01.254
 Рамазанов И.М. 26.01-01.32
 Рамазанов И.С. 26.01-01.156
 Расторгуев А.С. 26.01-01.409
 Рахманкулова Г.А. 26.01-01.383
 Рева И.В. 26.01-01.428, 26.01-01.434
 Резниченко Ю.С. 26.01-01.35,
 26.01-01.589
 Ремень Б.А. 26.01-01.424,
 26.01-01.436
 Репин А.Ю. 26.01-01.466
 Рехвиашвили С.Ш. 26.01-01.176
 Решетов А.А. 26.01-01.321
 Римская-Корсакова Л.К. 26.01-01.289,
 26.01-01.296
 Римский-Корсаков Н.А. 26.01-01.224
 Родин А.В. 26.01-01.498
 Родин А.Е. 26.01-01.544
 Родионов А.А. 26.01-01.192,
 26.01-01.248
 Розанов М.И. 26.01-01.602
 Романенко В.С. 26.01-01.508
 Романюк И.И. 26.01-01.404,
 26.01-01.410
 Ромашевский С.А. 26.01-01.118
 Ромашко Р.В. 26.01-01.373
 Росляков А.Г. 26.01-01.222,
 26.01-01.225
 Росницкий П.Б. 26.01-01.327,
 26.01-01.335, 26.01-01.386
 Росихин А.А. 26.01-01.269
 Ростопчина-Шаховская А.Н.
 26.01-01.457
 Ротин А.А. 26.01-01.554
 Рочев А.М. 26.01-01.103
 Рубан Д.В. 26.01-01.432
 Рубцов Г.И. 26.01-01.508,
 26.01-01.510, 26.01-01.515,
 26.01-01.517
 Руденко В.Н. 26.01-01.531
 Руденко О.В. 26.01-01.22
 Руднев В.И. 26.01-01.224
 Рудницкий А.Г. 26.01-01.536,
 26.01-01.547
 Руденских М.С. 26.01-01.527
- Р**
- Румянцева О.Д. 26.01-01.229,
 26.01-01.326
 Русаков О.П. 26.01-01.425
 Русаков Ю.С. 26.01-01.253
 Рухманова А.П. 26.01-01.472
 Рыбаков И.А. 26.01-01.254,
 26.01-01.255
 Рыбнянец А.Н. 26.01-01.112,
 26.01-01.357, 26.01-01.358,
 26.01-01.395
 Рыжова Д.А. 26.01-01.479
 Рыжова Т.Б. 26.01-01.390
 Рытов Е.Ю. 26.01-01.374
 Рыхлов В.С. 26.01-01.15
 Рябинин А.Н. 26.01-01.71
 Рябков М.В. 26.01-01.351
 Рябов В.А. 26.01-01.361
 Рябов Е.В. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517,
 26.01-01.602
- С**
- Саванов И.С. 26.01-01.407,
 26.01-01.441, 26.01-01.442,
 26.01-01.443, 26.01-01.444,
 26.01-01.546
 Саватеева Е.В. 26.01-01.152,
 26.01-01.391
 Савельев М.И. 26.01-01.419
 Савченко А.В. 26.01-01.11
 Садиленко Д.А. 26.01-01.491
 Садовничий В.А. 26.01-01.12
 Садовский А.М. 26.01-01.467,
 26.01-01.591
 Сазоненко Д.А. 26.01-01.413
 Сазонов С.В. 26.01-01.157
 Сазонов С.Ю. 26.01-01.563,
 26.01-01.569
 Саиян С.Г. 26.01-01.44
 Салин М.Б. 26.01-01.245,
 26.01-01.378
 Салычев А.В. 26.01-01.483
 Сальес Р. 26.01-01.425
 Саматов А.А. 26.01-01.328
 Самолига В.С. 26.01-01.510,
 26.01-01.515, 26.01-01.517
 Самхарадзе Г.Т. 26.01-01.16
 Сапожников О.А. 26.01-01.175,
 26.01-01.327, 26.01-01.328,
 26.01-01.335, 26.01-01.354,
 26.01-01.358, 26.01-01.386
 Сатарова Е.В. 26.01-01.392
 Сатунин П.С. 26.01-01.600
 Сатышев И. 26.01-01.510,
 26.01-01.515
 Сафронов Г.Б. 26.01-01.602
 Сафронова М.А. 26.01-01.353
 Сахарова Г.М. 26.01-01.385,
 26.01-01.386
 Сахибгареев Д.Г. 26.01-01.11
 Сахтеров В.И. 26.01-01.469
 Сахтерова Т.В. 26.01-01.469
 Сачков М.Е. 26.01-01.438,
 26.01-01.445, 26.01-01.452,
 26.01-01.453
 Светличная В.Б. 26.01-01.383
 Свешникова Л.Г. 26.01-01.510,
 26.01-01.515
 Свинкин Д.С. 26.01-01.557
 Селезнев Д.С. 26.01-01.379
 Семена Н.П. 26.01-01.554
 Семенов А.А. 26.01-01.28,
 26.01-01.31
 Семёнов А.П. 26.01-01.131,

- 26.01-01.135, 26.01-01.136,
26.01-01.141
Семенов Н.В. 26.01-01.88
Семенова В.Ю. 26.01-01.67,
26.01-01.68
Семенова Л.Ф. 26.01-01.493
Сербинов Д.В. 26.01-01.554
Сергеев И.С. 26.01-01.324
Сергеева М.С. 26.01-01.336
Серебрянский А.В. 26.01-01.428,
26.01-01.434
Серьезнов А.Н. 26.01-01.156
Сецко П.В. 26.01-01.588
Сибирцев Д.В. 26.01-01.554
Сидоренко А.А. 26.01-01.51
Сидоренков А.Ю. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Сидоров Д.Д. 26.01-01.195,
26.01-01.197, 26.01-01.205
Сидоров С.П. 26.01-01.15
Силаев А.А. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Силаев А.А.(мл.) 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Симаков И.Г. 26.01-01.127
Симонова А.А. 26.01-01.291
Синицын В.Е. 26.01-01.335
Сиренко А.Э. 26.01-01.602
Сичевский С.Г. 26.01-01.445
Скачедуб А.В. 26.01-01.448
Скиба В.С. 26.01-01.33
Склянов А.С. 26.01-01.564
Скобельцын С.А. 26.01-01.116
Скориков О.Р. 26.01-01.568
Скрипкин С.Г. 26.01-01.120
Скурхин А.В. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517,
26.01-01.602
Слатова Е.В. 26.01-01.483
Следков В.В. 26.01-01.379
Слюняев А.В. 26.01-01.52
Смагин М.В. 26.01-01.169
Смирнов А.А. 26.01-01.109,
26.01-01.402, 26.01-01.538,
26.01-01.553
Смирнов А.В. 26.01-01.138,
26.01-01.139, 26.01-01.143,
26.01-01.144, 26.01-01.145,
26.01-01.202
Смирнов А.С. 26.01-01.66
Смирнов В.А. 26.01-01.208,
26.01-01.221
Смирнов В.В. 26.01-01.82,
26.01-01.159
Смирнов Д.А. 26.01-01.469
Смирнов П.Г. 26.01-01.27
Смирнова О.И. 26.01-01.123
Смирнова Т.В. 26.01-01.535,
26.01-01.536
Смоленский Е.В. 26.01-01.235
Смородский Б.В. 26.01-01.88
Соболев А.В. 26.01-01.525
Согласнов В.А. 26.01-01.536
Созинова П.С. 26.01-01.584
Сокиркина Д.В. 26.01-01.189
Соколов А.В. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Соколов А.Д. 26.01-01.563
Соколов О.В. 26.01-01.166
Соколова Т.Б. 26.01-01.475
Соколовский З.Н. 26.01-01.59
Солдаткин В.В. 26.01-01.260
Солдаткин В.М. 26.01-01.260
Солнушкин С.Д. 26.01-01.348
Соловьёв А.А. 26.01-01.473
Соловьев А.Г. 26.01-01.602
Соловьев М.Л. 26.01-01.509
Солонцов О.В. 26.01-01.386
Сонг М. 26.01-01.387
Сорокин А.Г. 26.01-01.250
Сорокин Б.П. 26.01-01.133
Сорокин Е.М. 26.01-01.488
Сорокин М.А. 26.01-01.189
Сорокин С.А. 26.01-01.159
Сорокин С.Д. 26.01-01.354
Сороковиков М.Н. 26.01-01.602
Соседко Е.В. 26.01-01.77
Сосновский А.А. 26.01-01.543
Спирин Д.В. 26.01-01.174
Сталбо Л.А. 26.01-01.379
Старков А.В. 26.01-01.483
Старовойтов Э.И. 26.01-01.171
Стаценко В.П. 26.01-01.259
Степанов А.В. 26.01-01.561
Степанов А.Н. 26.01-01.212
Степанов К.Д. 26.01-01.292
Степанов Н.А. 26.01-01.468
Степанова Л.Н. 26.01-01.156,
26.01-01.381
Степаньянц В.А. 26.01-01.425
Степаньянц Ю.А. 26.01-01.76
Степахин В.Д. 26.01-01.126
Столяров В.А. 26.01-01.413
Столярова Э.И. 26.01-01.348
Стороженко А.В. 26.01-01.230
Стояновская О.П. 26.01-01.38
Страхов И.А. 26.01-01.565
Стрельцов А.И. 26.01-01.425
Стромаков А.П. 26.01-01.602
Стружкин М.Л. 26.01-01.360
Стукало А.А. 26.01-01.315
Субаев И.А. 26.01-01.528
Субботкин А.О. 26.01-01.315
Суворова О.В. 26.01-01.602
Сумбатян М.А. 26.01-01.319
Сурин Д.М. 26.01-01.554
Суркаев А.Л. 26.01-01.383
Сусликов М.В. 26.01-01.571
Сучков Д.С. 26.01-01.56
Сучков С.Г. 26.01-01.56, 26.01-01.277
Сызранова Н.Г. 26.01-01.575
Сюняев Р.А. 26.01-01.564
Сюсина О.М. 26.01-01.494
- Т**
- Таболенько В.А. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517,
26.01-01.602
Тавров А.В. 26.01-01.501,
26.01-01.594
Тайманов И.А. 26.01-01.12
Тамаров В.А. 26.01-01.494
Тамбов В.В. 26.01-01.554
Танаев А.Б. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Тарасов М.А. 26.01-01.413
Тарасов С.К. 26.01-01.213
Татаркин А.А. 26.01-01.47,
26.01-01.323
Теплых А.А. 26.01-01.131,
26.01-01.135, 26.01-01.136,
26.01-01.141
Терентьева А.К. 26.01-01.451
Терешин Д.Д. 26.01-01.411
Терешина М.А. 26.01-01.450
Терещенко М.А. 26.01-01.126
Терновой М.Ю. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Тертышников А.В. 26.01-01.492
- Тиманкова Ю.А. 26.01-01.169
Титарев В.А. 26.01-01.266
Титов С.А. 26.01-01.151,
26.01-01.168
Тихонов Г.М. 26.01-01.48
Тихончук Е.А. 26.01-01.50
Ткачев Л.Г. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Ткачев М.В. 26.01-01.568
Ткаченко Е.С. 26.01-01.214
Ткаченко Л.А. 26.01-01.46
Ткаченко П.Д. 26.01-01.189
Толикина М.Ю. 26.01-01.50
Тома Ж. 26.01-01.387
Томилиная Т.М. 26.01-01.158
Томилова И.В. 26.01-01.440
Топорков А.Г. 26.01-01.554
Тощенко К.А. 26.01-01.567
Травникова Д.Ю. 26.01-01.355
Трегьяк В.И. 26.01-01.602
Трегьяков П.А. 26.01-01.368
Трегьяченко Ю.В. 26.01-01.259
Трещев Д.В. 26.01-01.12
Троицкий С.В. 26.01-01.508,
26.01-01.600
Трошин А.И. 26.01-01.256
Трусенкова О.О. 26.01-01.239
Труфанов Д.Ю. 26.01-01.300
Трухачев Ф.М. 26.01-01.100
Трушкова Е.А. 26.01-01.427
Трыков С.С. 26.01-01.396
Тунгалаг Н. 26.01-01.425
Тутуков А.В. 26.01-01.525,
26.01-01.537
Тучин М.С. 26.01-01.429
Тырышкин И.М. 26.01-01.30
Тюльбашев С.А. 26.01-01.528,
26.01-01.545
Тюльбашева Г.Э. 26.01-01.545
Тюрин А.С. 26.01-01.315
Тюрин И.В. 26.01-01.601
Тютекин Ю.В. 26.01-01.198
Тютюнник В.М. 26.01-01.16
Тянь Я. 26.01-01.593
- У**
- Уваров С.В. 26.01-01.86
Удриш В.В. 26.01-01.8
Ужакова Э.А. 26.01-01.184
Ужанский Э.М. 26.01-01.195
Ульзутуев Б.Б. 26.01-01.602
Ульянов С.А. 26.01-01.418
Унатлоков И.Б. 26.01-01.508
Урвачев Е.М. 26.01-01.587
Усачева И.А. 26.01-01.245,
26.01-01.378
Усков Г.С. 26.01-01.563
Усмонов Р.С. 26.01-01.261
Усов Л.А. 26.01-01.256
Усталов Д.С. 26.01-01.432
Ушаков Н.А. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
- Ф**
- Фадеев А.А. 26.01-01.475
Фадеев А.В. 26.01-01.317
Фадеев А.С. 26.01-01.304,
26.01-01.313
Фадеев Е.Н. 26.01-01.536
Фадеев С.А. 26.01-01.46
Фадеев Ю.А. 26.01-01.560
Фангю Лю. 26.01-01.518
Фараносов Г.А. 26.01-01.263,

26.01-01.265, 26.01-01.266,
26.01-01.267
Федоров С.В. 26.01-01.380
Федорова А.В. 26.01-01.537
Федорова В.А. 26.01-01.544
Фёдорова М.А. 26.01-01.59
Федосеева И.В. 26.01-01.21
Федотенков А.П. 26.01-01.93
Фейгин Ф.З. 26.01-01.586
Фейзханов У.Ф. 26.01-01.392
Фикс Г.Е. 26.01-01.306
Фикс И.Ш. 26.01-01.306
Филеткин А.И. 26.01-01.283
Филиппенко Л.В. 26.01-01.413
Филиппов М.В. 26.01-01.604
Фирсюк С.О. 26.01-01.610
Фисенко А.В. 26.01-01.493
Фомин В.Н. 26.01-01.602
Фомин И.В. 26.01-01.577,
26.01-01.582
Фоминский М.Ю. 26.01-01.413
Фонин А.А. 26.01-01.277
Фредерикс Д.Д. 26.01-01.552,
26.01-01.557
Фролова О.В. 26.01-01.338,
26.01-01.341, 26.01-01.343,
26.01-01.364
Фурсов В.Ю. 26.01-01.297

Х

Хаджиев М.М. 26.01-01.508
Хазов П.А. 26.01-01.298
Хайкин В.Б. 26.01-01.522
Хакимзянов Г.С. 26.01-01.33
Халики Э. 26.01-01.412
Халова В.А. 26.01-01.15
Хамитов И.М. 26.01-01.564,
26.01-01.571
Харук И. 26.01-01.602
Харчев Н.К. 26.01-01.126
Харченко Г.А. 26.01-01.554
Хатамтаев Б.И. 26.01-01.237
Хатмуллина А.Н. 26.01-01.385
Хворостов Ю.А. 26.01-01.240
Хенкель К. 26.01-01.599
Хилько А.И. 26.01-01.201
Хмельёв В.Н. 26.01-01.178
Хоерниса И. 26.01-01.518
Холодков К.И. 26.01-01.464
Холодов Д.В. 26.01-01.54
Хоркин В.С. 26.01-01.148
Хортов А.В. 26.01-01.224
Хорунжий Г.Д. 26.01-01.350
Хохлов Н.А. 26.01-01.148
Хохлова В.А. 26.01-01.53,
26.01-01.79, 26.01-01.84,
26.01-01.102, 26.01-01.335,
26.01-01.336, 26.01-01.354,
26.01-01.358, 26.01-01.385,
26.01-01.386, 26.01-01.387,
26.01-01.389, 26.01-01.394
Хохлова Т.Д. 26.01-01.387
Храмов Е.В. 26.01-01.602
Храмцова Е.А. 26.01-01.184
Храпов С.С. 26.01-01.87
Хребтов М.Ю. 26.01-01.258
Хубаев Х.М. 26.01-01.597
Худяков М.С. 26.01-01.368

Ц

Цал Ю.Т. 26.01-01.459
Цедрик М.В. 26.01-01.250
Цзинвэй И. 26.01-01.235

Цзямань Ма 26.01-01.484
Цзянь Цзюнь Ч. 26.01-01.235
Цивилев А.П. 26.01-01.540
Цой М.А. 26.01-01.120
Цукерников И.Е. 26.01-01.287
Цыбин В.С. 26.01-01.200
Цымбал В.В. 26.01-01.400
Цырюльников И.С. 26.01-01.94
Цысарь С.А. 26.01-01.175,
26.01-01.327, 26.01-01.328,
26.01-01.354, 26.01-01.358,
26.01-01.389

Ч

Чадымов В.А. 26.01-01.602
Чазов Н.А. 26.01-01.411
Чанг К.И. 26.01-01.239
Чарная Е.В. 26.01-01.103,
26.01-01.123
Чашей И.В. 26.01-01.528
Чеботкова В.В. 26.01-01.192
Чекушкин А.М. 26.01-01.413
Чепурнов А.С. 26.01-01.602
Чепурнова Е.К. 26.01-01.243
Червон С.В. 26.01-01.583
Черепашук А.М. 26.01-01.608
Чернецкий А.Д. 26.01-01.210
Чернов Д.В. 26.01-01.510,
26.01-01.515, 26.01-01.517
Чернов С.В. 26.01-01.547
Чернова В.В. 26.01-01.156,
26.01-01.381
Чернышев А.К. 26.01-01.24
Чернышев С.А. 26.01-01.262,
26.01-01.263, 26.01-01.267,
26.01-01.273
Чесноков А.А. 26.01-01.213
Чжан Ч. 26.01-01.425
Чижов В.Ю. 26.01-01.305
Чилингарян И.В. 26.01-01.585
Числов Д.С. 26.01-01.315
Чихман В.Н. 26.01-01.348
Чоловская Е.С. 26.01-01.500
Чубаров Л.Б. 26.01-01.33
Чугай Н.Н. 26.01-01.551
Чумаков С.О. 26.01-01.99
Чунчузов И.П. 26.01-01.249,
26.01-01.252
Чупашев А.В. 26.01-01.30
Чупин В.А. 26.01-01.215
Чупова Д.Д. 26.01-01.335,
26.01-01.385, 26.01-01.386
Чучупал В.Я. 26.01-01.339

Ш

Шагарова Н.М. 26.01-01.477
Шайбонов Б.А. 26.01-01.602
Шайдуллин Л.Р. 26.01-01.46
Шайковский А.В. 26.01-01.507,
26.01-01.510, 26.01-01.515,
26.01-01.517
Шайхисламов И.Ф. 26.01-01.527
Шалдаев С.Е. 26.01-01.423,
26.01-01.436
Шамаев В.Г. 26.01-01.2К
Шамсутдинова Е.С. 26.01-01.143
Шамшиев Ф.Т. 26.01-01.530
Шанин А.В. 26.01-01.70, 26.01-01.85
Шапкин В.А. 26.01-01.126
Шапошников В.Д. 26.01-01.459
Шапошников Д.С. 26.01-01.498
Шараев П.А. 26.01-01.117
Шаринов С.С. 26.01-01.527

Шатина А.В. 26.01-01.482
Шатов П.В. 26.01-01.423,
26.01-01.424, 26.01-01.436
Шатравин А.В. 26.01-01.210
Шафаревич А.И. 26.01-01.12
Шахворостова Н.Н. 26.01-01.539,
26.01-01.584
Шаховской Д.Н. 26.01-01.457
Шашкова И.А. 26.01-01.593,
26.01-01.594
Шашковская В.С. 26.01-01.355
Швец В.А. 26.01-01.215
Швецов И.А. 26.01-01.112,
26.01-01.357, 26.01-01.395
Швецова Н.А. 26.01-01.112,
26.01-01.357, 26.01-01.395
Шевцов С.Е. 26.01-01.311
Шевченко А.В. 26.01-01.278
Шенн А.В. 26.01-01.449
Шелест Е.Л. 26.01-01.70
Шематович В.И. 26.01-01.489
Шепелин А.В. 26.01-01.527
Шерменева М.А. 26.01-01.187,
26.01-01.195
Шестакова Л.И. 26.01-01.428
Шиманская Н.Н. 26.01-01.406
Шиманский В.В. 26.01-01.406
Шимкович Ф. 26.01-01.602
Ширгина Н.В. 26.01-01.80,
26.01-01.310, 26.01-01.314
Широков Е.В. 26.01-01.602
Ширяев А.Н. 26.01-01.12
Шитикова М.В. 26.01-01.65
Шиховцев А.Ю. 26.01-01.522
Шиховцев М.Ю. 26.01-01.522
Шишкин В.М. 26.01-01.73
Шишкин В.Ю. 26.01-01.602
Шклярчук А.Д. 26.01-01.471,
26.01-01.474, 26.01-01.476,
26.01-01.481
Шкрабий И.С. 26.01-01.372
Шкрамада С.С. 26.01-01.189
Шмагин В.Е. 26.01-01.445
Шмаков А.С. 26.01-01.88
Шмакова Н.Д. 26.01-01.217
Шохрин Д.В. 26.01-01.281,
26.01-01.590, 26.01-01.592
Шпилен Н.Н. 26.01-01.192,
26.01-01.248
Штекл И. 26.01-01.602
Штыковский А.Е. 26.01-01.554
Шувалов В.В. 26.01-01.497
Шугаров А.С. 26.01-01.417,
26.01-01.438, 26.01-01.441
Шукало Д.М. 26.01-01.199
Шульгина И.В. 26.01-01.594
Шуруп А.С. 26.01-01.54,
26.01-01.207, 26.01-01.220,
26.01-01.229, 26.01-01.276
Шустов Б.М. 26.01-01.417,
26.01-01.549
Шутенков В.Р. 26.01-01.542

Щ

Щеглов С.Г. 26.01-01.214
Щербина А.В. 26.01-01.207
Щербина М.П. 26.01-01.428,
26.01-01.490, 26.01-01.549
Щуров В.А. 26.01-01.214
Щуров М.А. 26.01-01.547
Щурова Н.Е. 26.01-01.287

Э

Эдельман В.С. **26.01-01.413**
Эльдаров И.В. **26.01-01.545**
Эцкерова Э. **26.01-01.602**

Ю

Юань Ли. **26.01-01.486**
Юдаев А.В. **26.01-01.594**
Юдин М.А. **26.01-01.267**
Юй Ш. **26.01-01.425**
Юлдашев П.В. **26.01-01.53**,

26.01-01.79, 26.01-01.84,
26.01-01.336, 26.01-01.394
Юрасов В.С. **26.01-01.427**
Юров В.О. **26.01-01.63**
Юсупов Р.А. **26.01-01.413**
Юшков В.П. **26.01-01.251**

Я

Яблокова Ю.В. **26.01-01.602**
Яблоник Л.Р. **26.01-01.227**
Ягодин А.В. **26.01-01.139**
Яковенко С.В. **26.01-01.215**

Яковенко С.Н. **26.01-01.39**
Яковчук М.С. **26.01-01.49**
Якунин И.А. **26.01-01.404,**
26.01-01.566
Янаков А.Т. **26.01-01.467**
Янилкин Ю.В. **26.01-01.259**
Янин А.Ф. **26.01-01.508**
Ярцева И.Н. **26.01-01.456**
Яцишина Е.Б. **26.01-01.21**
Яцких А.А. **26.01-01.88**
Яшин Д.В. **26.01-01.133**
Яшин И.И. **26.01-01.510,**
26.01-01.515, 26.01-01.517

УКАЗАТЕЛЬ ИСТОЧНИКОВ

Журналы

- RUSSIAN TECHNOLOGICAL JOURNAL (Предыдущее название: Российский технологический журнал (с 2016 по 2021 гг.), Вестник МГТУ МИРЭА (с 2013 по 2015 гг.) 2025, 13, № 5 **26.01-01.57**
- RUSSIAN TECHNOLOGICAL JOURNAL (Предыдущее название: Российский технологический журнал (с 2016 по 2021 гг.), Вестник МГТУ МИРЭА (с 2013 по 2015 гг.) 2026, 14, № 1 **26.01-01.482**
- Авиакосмическое приборостроение. 2025, № 10 **26.01-01.483**
- Авиакосмическое приборостроение. 2026, № 2 **26.01-01.484**
- Акустический журнал. 2024, 70, № 5S **26.01-01.185**
- Акустический журнал. 2025, 71, № 2 **26.01-01.367**
- Акустический журнал. 2025, 71, № 3 **26.01-01.177, 26.01-01.180, 26.01-01.181**
- Акустический журнал. 2025, 71, № 5 **26.01-01.18, 26.01-01.70, 26.01-01.95, 26.01-01.106, 26.01-01.112, 26.01-01.131, 26.01-01.172, 26.01-01.188, 26.01-01.193, 26.01-01.227, 26.01-01.262, 26.01-01.296, 26.01-01.300, 26.01-01.306, 26.01-01.335**
- Акустический журнал. 2025, 71, № 6 **26.01-01.44, 26.01-01.45, 26.01-01.53, 26.01-01.101, 26.01-01.113, 26.01-01.189, 26.01-01.194, 26.01-01.229, 26.01-01.234, 26.01-01.256, 26.01-01.297, 26.01-01.361**
- Акустический журнал. 2025, 71, № 5S **26.01-01.1, 26.01-01.36, 26.01-01.47, 26.01-01.54, 26.01-01.55, 26.01-01.56, 26.01-01.77, 26.01-01.78, 26.01-01.79, 26.01-01.80, 26.01-01.81, 26.01-01.82, 26.01-01.83, 26.01-01.84, 26.01-01.85, 26.01-01.90, 26.01-01.92, 26.01-01.102, 26.01-01.103, 26.01-01.104, 26.01-01.105, 26.01-01.107, 26.01-01.108, 26.01-01.109, 26.01-01.114, 26.01-01.115, 26.01-01.116, 26.01-01.117, 26.01-01.119, 26.01-01.121, 26.01-01.123, 26.01-01.127, 26.01-01.132, 26.01-01.133, 26.01-01.134, 26.01-01.135, 26.01-01.136, 26.01-01.137, 26.01-01.138, 26.01-01.139, 26.01-01.140, 26.01-01.141, 26.01-01.142, 26.01-01.143, 26.01-01.144, 26.01-01.145, 26.01-01.146, 26.01-01.147, 26.01-01.148, 26.01-01.149, 26.01-01.150, 26.01-01.151, 26.01-01.152, 26.01-01.153, 26.01-01.154, 26.01-01.158, 26.01-01.159, 26.01-01.160, 26.01-01.161, 26.01-01.162, 26.01-01.163, 26.01-01.164, 26.01-01.165, 26.01-01.168, 26.01-01.173, 26.01-01.174, 26.01-01.175, 26.01-01.182, 26.01-01.183, 26.01-01.184, 26.01-01.186, 26.01-01.187, 26.01-01.190, 26.01-01.195, 26.01-01.196, 26.01-01.197, 26.01-01.198, 26.01-01.199, 26.01-01.200, 26.01-01.201, 26.01-01.202, 26.01-01.203, 26.01-01.204, 26.01-01.205, 26.01-01.206, 26.01-01.207, 26.01-01.208, 26.01-01.209, 26.01-01.210, 26.01-01.211, 26.01-01.212, 26.01-01.219, 26.01-01.220, 26.01-01.221, 26.01-01.228, 26.01-01.230, 26.01-01.231, 26.01-01.232, 26.01-01.235, 26.01-01.236, 26.01-01.237, 26.01-01.249, 26.01-01.250, 26.01-01.251, 26.01-01.252, 26.01-01.253, 26.01-01.254, 26.01-01.255, 26.01-01.263, 26.01-01.264, 26.01-01.265, 26.01-01.266, 26.01-01.267, 26.01-01.268, 26.01-01.269, 26.01-01.270, 26.01-01.271, 26.01-01.272, 26.01-01.273, 26.01-01.274, 26.01-01.275, 26.01-01.276, 26.01-01.278, 26.01-01.284, 26.01-01.285, 26.01-01.286, 26.01-01.287, 26.01-01.288, 26.01-01.289, 26.01-01.290, 26.01-01.302, 26.01-01.303, 26.01-01.304, 26.01-01.305, 26.01-01.307, 26.01-01.308, 26.01-01.309, 26.01-01.310, 26.01-01.311, 26.01-01.312, 26.01-01.313, 26.01-01.314, 26.01-01.315, 26.01-01.316, 26.01-01.317, 26.01-01.318, 26.01-01.320, 26.01-01.322, 26.01-01.323, 26.01-01.325, 26.01-01.326, 26.01-01.327, 26.01-01.328, 26.01-01.329, 26.01-01.330, 26.01-01.333, 26.01-01.334, 26.01-01.336, 26.01-01.337, 26.01-01.338, 26.01-01.339, 26.01-01.340, 26.01-01.341, 26.01-01.342, 26.01-01.343, 26.01-01.344, 26.01-01.345, 26.01-01.346, 26.01-01.347, 26.01-01.348, 26.01-01.349, 26.01-01.350, 26.01-01.351, 26.01-01.352, 26.01-01.353, 26.01-01.354, 26.01-01.355, 26.01-01.356, 26.01-01.357, 26.01-01.358, 26.01-01.362, 26.01-01.363, 26.01-01.364, 26.01-01.365, 26.01-01.366, 26.01-01.374, 26.01-01.375, 26.01-01.376, 26.01-01.377, 26.01-01.378, 26.01-01.384, 26.01-01.385, 26.01-01.386, 26.01-01.387, 26.01-01.388, 26.01-01.389, 26.01-01.391, 26.01-01.392, 26.01-01.393, 26.01-01.394, 26.01-01.395**
- Астрономический вестник. 2025, 59, № 5 **26.01-01.486, 26.01-01.487, 26.01-01.488, 26.01-01.489, 26.01-01.490, 26.01-01.491, 26.01-01.492, 26.01-01.493, 26.01-01.494, 26.01-01.495**
- Астрономический вестник. 2025, 59, № 6 **26.01-01.191, 26.01-01.496, 26.01-01.497, 26.01-01.498, 26.01-01.499, 26.01-01.500, 26.01-01.501, 26.01-01.502, 26.01-01.503, 26.01-01.504, 26.01-01.505, 26.01-01.506**
- Астрономический журнал. 2025, 102, № 10 **26.01-01.524, 26.01-01.525, 26.01-01.526, 26.01-01.527, 26.01-01.528, 26.01-01.529, 26.01-01.530**
- Астрономический журнал. 2025, 102, № 11 **26.01-01.531, 26.01-01.532, 26.01-01.533, 26.01-01.534, 26.01-01.535, 26.01-01.536, 26.01-01.537**
- Астрономический журнал. 2025, 102, № 12 **26.01-01.538, 26.01-01.539, 26.01-01.540, 26.01-01.541, 26.01-01.542, 26.01-01.543, 26.01-01.544, 26.01-01.545, 26.01-01.546, 26.01-01.547, 26.01-01.548, 26.01-01.549, 26.01-01.550**
- Астрофизический бюллетень. 2025, 80, № 3 **26.01-01.400, 26.01-01.401, 26.01-01.402, 26.01-01.403, 26.01-01.404, 26.01-01.405, 26.01-01.406, 26.01-01.407, 26.01-01.408, 26.01-01.409, 26.01-01.410, 26.01-01.411, 26.01-01.412, 26.01-01.413**
- Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. 2025, № 4 **26.01-01.74**
- Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия. 2026, 80, № 1 **26.01-01.283, 26.01-01.596, 26.01-01.597, 26.01-01.598**
- Вестник Московского авиац. ин-та. 2025, 32, № 4 **26.01-01.610**
- Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2025, № 3 **26.01-01.130**
- Вестник Пермского ун-та. Серия: Физика. 2025, № 3 **26.01-01.40, 26.01-01.110**
- Гелиогеофизические исследования. 2024, № 47 **26.01-01.462**
- Гелиогеофизические исследования. 2025, № 46 **26.01-01.3, 26.01-01.4, 26.01-01.5, 26.01-01.6, 26.01-01.7, 26.01-01.8, 26.01-01.9, 26.01-01.10, 26.01-01.11, 26.01-01.456**
- Гелиогеофизические исследования. 2025, № 48 **26.01-01.463, 26.01-01.464, 26.01-01.465, 26.01-01.466, 26.01-01.467, 26.01-01.468, 26.01-01.469, 26.01-01.470**
- Гелиогеофизические исследования. 2025, № 50 **26.01-01.471, 26.01-01.472, 26.01-01.473, 26.01-01.474, 26.01-01.475, 26.01-01.476, 26.01-01.477, 26.01-01.478, 26.01-01.479, 26.01-01.480, 26.01-01.481**
- Ж. эксперим. и теор. физ. 2026, 169, № 1 **26.01-01.594, 26.01-01.595**
- Ж. эксперим. и теор. физ. 2026, 169, № 2 **26.01-01.399**
- Журнал технической физики. 2026, 96, № 1 **26.01-01.122**
- Журнал технической физики. 2026, 96, № 2 **26.01-01.91**
- Журнал технической физики. 2026, 96, № 3 **26.01-01.71, 26.01-01.72**
- Изв. ЮФУ. Техн. н. 2023, № 5 **26.01-01.397**
- Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2025, № 3 **26.01-01.62, 26.01-01.299, 26.01-01.368**
- Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2025, № 4 **26.01-01.26, 26.01-01.27, 26.01-01.260, 26.01-01.261**
- Известия Крымской астрофизической обсерватории. 2025, 121, № 3 **26.01-01.454, 26.01-01.455**
- Известия Крымской астрофизической обсерватории. 2025, 121, № 4 **26.01-01.457, 26.01-01.458, 26.01-01.459**
- Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2025, № 5 **26.01-01.321**
- Известия Российской академии наук. Механика твердого тела.

- 2025, № 6 **26.01-01.58, 26.01-01.128**
 Известия Российской академии наук. Серия математическая. 2025. 89, № 6 **26.01-01.111**
 Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2023. 23, № 3 **26.01-01.28**
 Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2024. 24, № 2 **26.01-01.29, 26.01-01.63**
 Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2024. 24, № 3 **26.01-01.64, 26.01-01.523**
 Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2024. 24, № 4 **26.01-01.98**
 Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2025. 25, № 1 **26.01-01.30, 26.01-01.257, 26.01-01.277**
 Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2025. 25, № 2 **26.01-01.65**
 Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2025. 25, № 3 **26.01-01.31, 26.01-01.66, 26.01-01.171**
 Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2025. 25, № 4 **26.01-01.15, 26.01-01.42**
 Инженерная физика. 2025, № 9 **26.01-01.32, 26.01-01.371**
 Инженерная физика. 2025, № 10 **26.01-01.76**
 Инженерная физика. 2025, № 11 **26.01-01.372**
 Инженерная физика. 2026, № 1 **26.01-01.574**
 Инженерно-физический журнал. 2026. 99, № 1 **26.01-01.575**
 История науки и техники. 2025, № 11 **26.01-01.16**
 История науки и техники. 2025, № 12 **26.01-01.576**
 Контроль. Диагностика. 2025. 28, № 7 **26.01-01.155**
 Контроль. Диагностика. 2025. 28, № 9 **26.01-01.379**
 Контроль. Диагностика. 2025. 28, № 10 **26.01-01.380**
 Контроль. Диагностика. 2025. 28, № 12 **26.01-01.381, 26.01-01.382**
 Контроль. Диагностика. 2026. 29, № 1 **26.01-01.156, 26.01-01.383**
 Кристаллография. 2025. 70, № 4 **26.01-01.129**
 Мат. моделир. 2025. 37, № 6 **26.01-01.216, 26.01-01.259**
 Мат. моделир. 2026. 38, № 1 **26.01-01.43, 26.01-01.319**
 Математическая физика и компьютерное моделирование. 2024. 27, № 4 **26.01-01.87, 26.01-01.414**
 Математическая физика и компьютерное моделирование. 2025. 28, № 2 **26.01-01.331**
 Математическая физика и компьютерное моделирование. 2025. 28, № 3 **26.01-01.332**
 Морские интеллектуальные технологии. 2025, № 3-1 **26.01-01.67**
 Морские интеллектуальные технологии. 2025, № 4-1 **26.01-01.68, 26.01-01.242**
 Морские интеллектуальные технологии. 2025, № 4-3 **26.01-01.243, 26.01-01.373**
 Морской вестник. 2025, № 3 **26.01-01.233, 26.01-01.295**
 Морской вестник. 2025, № 4 **26.01-01.93**
 Научные труды Института астрономии РАН. 2025. 10, № 3 **26.01-01.417, 26.01-01.418, 26.01-01.419, 26.01-01.420, 26.01-01.421, 26.01-01.422, 26.01-01.423, 26.01-01.424, 26.01-01.425**
 Научные труды Института астрономии РАН. 2025. 10, № 4 **26.01-01.426, 26.01-01.427, 26.01-01.428, 26.01-01.429, 26.01-01.430, 26.01-01.431, 26.01-01.432, 26.01-01.433, 26.01-01.434, 26.01-01.435, 26.01-01.436, 26.01-01.437**
 Научные труды Института астрономии РАН. 2025. 10, № 5 **26.01-01.438, 26.01-01.439, 26.01-01.440, 26.01-01.441, 26.01-01.442, 26.01-01.443, 26.01-01.444, 26.01-01.445, 26.01-01.446, 26.01-01.447, 26.01-01.448, 26.01-01.449, 26.01-01.450, 26.01-01.451, 26.01-01.452, 26.01-01.453**
 Нелинейный мир. 2024. 22, № 1 **26.01-01.292**
 Нелинейный мир. 2024. 22, № 2 **26.01-01.99**
 Нелинейный мир. 2024. 22, № 3 **26.01-01.398, 26.01-01.577, 26.01-01.578, 26.01-01.579, 26.01-01.580, 26.01-01.581, 26.01-01.582, 26.01-01.583**
 Нелинейный мир. 2024. 22, № 4 **26.01-01.17**
 Нелинейный мир. 2025. 23, № 2 **26.01-01.69**
 Нелинейный мир. 2025. 23, № 4 **26.01-01.218**
 Океанология. 2024. 64, № 5 **26.01-01.222**
 Океанология. 2025. 65, № 4 **26.01-01.223, 26.01-01.224**
 Океанология. 2025. 65, № 5 **26.01-01.225**
 Омский научный вестник. 2024, № 2 **26.01-01.59**
 Омский научный вестник. 2024, № 3 **26.01-01.60, 26.01-01.298**
 Оптика атмосферы и океана. 2025. 38, № 8 **26.01-01.520**
 Оптика атмосферы и океана. 2025. 38, № 12 **26.01-01.521**
 Оптика атмосферы и океана. 2026. 39, № 1 **26.01-01.522**
 Письма в Астрон. ж. 2025. 51, № 5 **26.01-01.551, 26.01-01.552, 26.01-01.553, 26.01-01.554, 26.01-01.555, 26.01-01.556**
 Письма в Астрон. ж. 2025. 51, № 6 **26.01-01.557, 26.01-01.558, 26.01-01.559, 26.01-01.560, 26.01-01.561, 26.01-01.562**
 Письма в Астрон. ж. 2025. 51, № 7 **26.01-01.563, 26.01-01.564, 26.01-01.565, 26.01-01.566**
 Письма в Астрон. ж. 2025. 51, № 8 **26.01-01.567, 26.01-01.568, 26.01-01.569, 26.01-01.570, 26.01-01.571, 26.01-01.572**
 Письма в ЖЭТФ. 2025. 122, № 11 **26.01-01.157, 26.01-01.599**
 Письма в ЖЭТФ. 2026. 123, № 2 **26.01-01.169, 26.01-01.600, 26.01-01.601**
 Подводные исследования и робототехника. 2025, № 3 **26.01-01.238, 26.01-01.239, 26.01-01.240**
 Подводные исследования и робототехника. 2025, № 4 **26.01-01.214, 26.01-01.241, 26.01-01.244, 26.01-01.245, 26.01-01.246**
 Приборы. 2025, № 5 **26.01-01.370**
 Приборы. 2025, № 11 **26.01-01.573**
 Приборы и техника эксперимента. 2025, № 3 **26.01-01.602, 26.01-01.603**
 Приборы и техника эксперимента. 2025, № 4 **26.01-01.37**
 Приборы и техника эксперимента. 2025, № 5 **26.01-01.170, 26.01-01.604**
 Прикладная механика и техническая физика. 2025. 66, № 4 **26.01-01.73, 26.01-01.86, 26.01-01.213**
 Прикладная механика и техническая физика. 2025. 66, № 5 **26.01-01.94**
 Прикладная механика и техническая физика. 2025. 66, № 6 **26.01-01.38, 26.01-01.39, 26.01-01.75, 26.01-01.217**
 Прикладная физика. 2025, № 6 **26.01-01.167**
 Прикладная физика и математика. 2025, № 10 **26.01-01.280, 26.01-01.460**
 Прикладная физика и математика. 2025, № 12 **26.01-01.461**
 Сенсорные системы. 2025. 38, № 1 **26.01-01.359, 26.01-01.360**
 Сибирский аэрокосмический журнал. 2025. 26, № 3 **26.01-01.415**
 Сибирский аэрокосмический журнал. 2025. 26, № 4 **26.01-01.416**
 Теплофиз. и аэромех. 2025, № 1 **26.01-01.88**
 Теплофиз. и аэромех. 2025, № 3 **26.01-01.51, 26.01-01.120**
 Теплофиз. и аэромех. 2025, № 4 **26.01-01.89, 26.01-01.258**
 Теплофизика высоких температур. 2025. 63, № 2 **26.01-01.49**
 Теплофизика высоких температур. 2025. 63, № 4 **26.01-01.124**
 Теплофизика высоких температур. 2025. 63, № 5 **26.01-01.96**
 Теплофизика высоких температур. 2025. 63, № 65 **26.01-01.46, 26.01-01.118**
 Труды Крыловского государственного научного центра. 2025, № 413 **26.01-01.13, 26.01-01.226, 26.01-01.301**
 Труды Крыловского государственного научного центра. 2025, № 414 **26.01-01.14, 26.01-01.293, 26.01-01.294**
 Труды МАИ. 2025, № 144 **26.01-01.61, 26.01-01.324**
 Труды МАИ. 2025, № 145 **26.01-01.97**
 Труды Центрального аэрогидродинамического института им. проф. Н. Е. Жуковского (ЦАГИ). 2023, № 2819

- 26.01-01.48, 26.01-01.369, 26.01-01.390**
 Успехи математических наук. 2026. 81, № 1 **26.01-01.12**
 УФН. 2025. 195, № 8 **26.01-01.19, 26.01-01.605,**
26.01-01.606
 УФН. 2025. 195, № 10 **26.01-01.607, 26.01-01.608**
 УФН. 2025. 195, № 11 **26.01-01.20, 26.01-01.609**
 УФН. 2025. 195, № 12 **26.01-01.21, 26.01-01.22,**
26.01-01.23, 26.01-01.24
 УФН. 2026. 196, № 1 **26.01-01.25**
 Ученые записки физического ф-та МГУ. 2025, № 5
26.01-01.584, 26.01-01.585
 Физика плазмы. 2025. 51, № 1 **26.01-01.100, 26.01-01.281**
 Физика плазмы. 2025. 51, № 2 **26.01-01.125**
 Физика плазмы. 2025. 51, № 3 **26.01-01.586**
 Физика плазмы. 2025. 51, № 4 **26.01-01.282, 26.01-01.587**
 Физика плазмы. 2025. 51, № 5 **26.01-01.34, 26.01-01.35,**
26.01-01.588
 Физика плазмы. 2025. 51, № 6 **26.01-01.589, 26.01-01.590**
 Физика плазмы. 2025. 51, № 8 **26.01-01.126**
 Физика плазмы. 2025. 51, № 9 **26.01-01.591, 26.01-01.592**
- Физика плазмы. 2025. 51, № 10 **26.01-01.593**
 Физика твердого тела. 2025. 67, № 9 **26.01-01.176**
 Физика твердого тела. 2025. 67, № 11 **26.01-01.166**
 Физика твердого тела. 2025. 67, № 12 **26.01-01.279**
 Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2025. 56, № 3
26.01-01.396, 26.01-01.507, 26.01-01.508, 26.01-01.509,
26.01-01.510, 26.01-01.511, 26.01-01.512, 26.01-01.513,
26.01-01.514, 26.01-01.515, 26.01-01.516, 26.01-01.517
 Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2025. 56, № 4
26.01-01.518
 Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2025. 56, № 6
26.01-01.247, 26.01-01.519
 Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2025. 18, № 4
26.01-01.33, 26.01-01.52, 26.01-01.192, 26.01-01.248
 Экологические системы и приборы. 2025, № 11 **26.01-01.50,**
26.01-01.215, 26.01-01.485
 Экологические системы и приборы. 2026, № 1 **26.01-01.291**
 Южно-Сибирский научный вестник. 2025, № 4 **26.01-01.41,**
26.01-01.178, 26.01-01.179

Книги

Шестьдесят лет спустя. 1965—2025. М.: Астр-космосинформ. 2026 **26.01-01.2К**

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|--------------|
| Конгрессы, конференции, семинары, симпозиумы, советы, совещания | 26.01-01.1 |
| Библиография | 26.01-01.2 |
| Персоналии | 26.01-01.3 |
| Классические проблемы линейной акустики и теории волн | 26.01-01.26 |
| Нелинейная акустика | 26.01-01.76 |
| Физическая акустика | 26.01-01.103 |
| Акустика океана, гидроакустика | 26.01-01.185 |
| Атмосферная и аэроакустика | 26.01-01.249 |
| Акустика структурно неоднородных сред; Геологическая акустика | 26.01-01.276 |
| Акустическая экология; Шумы и вибрации | 26.01-01.284 |
| Акустика помещений; Музыкальная акустика | 26.01-01.307 |
| Обработка акустических сигналов; Компьютерное моделирование | 26.01-01.323 |
| Акустика живых систем; Биологическая акустика | 26.01-01.329 |
| Физические основы технической акустики | 26.01-01.367 |
| Акустика в медицинской практике | 26.01-01.394 |
| Акустика в инженерном деле | 26.01-01.396 |
| Физика | 26.01-01.397 |
| Астрономия | 26.01-01.400 |
| Авторский указатель Указатель источников | |