

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 2025

Выходит 6 раз в год

Конгрессы, конференции, семинары, симпозиумы, советы, совещания

25.01-01.1 Предисловие [к дополнительному выпуску "Акустического журнала" № 5S 2024 года]. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 2. Рус.

В данном выпуске представлены аннотации докладов Всероссийской научной конференции "XXXVI сессии Российского акустического общества". Всероссийская политематическая научная конференция "XXXVI сессия Российского акустического общества" с успехом состоялась в Москве в октябре 2024 г. На конференции были рассмотрены современные проблемы развития акустики, в частности в области физической акустики, нелинейной акустики, оптоакустики, акустики океана, геоакустики, акустических метаматериалов, архитектурной и строительной акустики, атмосферной акустики, биоакустики и медицинских приложений акустических методов, акустики речи, ультразвуковых технологий, при распространении и дифракции волн, аэроакустики, акустоэлектроники, музыкальной акустики и шумов и вибраций. В научную программу конференции были включены более 180 докладов и приняли участие более

150 ученых, которые представили свои доклады во всех областях акустики. В конференции приняли участие ученые и специалисты из более 50 научных учреждений, предприятий и университетов из более чем 15 городов России. Представленные в докладах результаты относятся как к фундаментальным, так и к прикладным исследованиям и техническим разработкам, связаны с развитием акустических технологий. Многие доклады представлены на конференции как ведущими российскими специалистами, так и значительная часть результатов получена с участием молодых ученых, более 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 сборник трудов конференции включены 180 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.

Библиография

25.01-01.2K Труды Института прикладной астрономии РАН № 68. 2024

25.01-01.3K Труды Института прикладной астрономии РАН № 69. 2024

25.01-01.4K Труды Института прикладной астрономии РАН № 70. 2024

25.01-01.5K Труды Института прикладной астрономии РАН № 71. 2024

25.01-01.6 Полнотекстовый архив Акустического журнала в интернет-портале «Акустика» (русскоязычные источники). Горшков А.В., Шамаев В.Г. *Научно-техническая информация. Серия 1. Организация и методика информационной работы*. 2024, № 9, с. 31-38. Рус.

Рассматривается проблема отражения русскоязычных источников информации в информационном поле, которое ныне тесно связано с Интернетом. Кратко описываются и анализируются сайты некоторых научных журналов. Сообщается о работе по созданию технологии подготовки полнотекстового электронного архива научного журнала и его сайта на примере всех выпусков «Акустического журнала». Каждый выпуск разделяет-

ся по статьям, и каждая статья помещается в соответствующую рубрику. Возможны просмотр изображения каждой статьи в формате PDF с наложенным текстовым слоем и поиск статей по выпускам, авторам и рубрикам. Имеются авторский и рубрикативный указатели. Описывается процесс подготовки архива и обосновывается своевременность реализации проекта. Приводится статистическая информация: импакт-фактор «Акустического журнала» по данным РИНЦ, количество визитов на сайт по странам и административным округам РФ, наполнение рубрик, возрастной состав читателей. Демонстрируется не только научная ценность архива, но и его использование в качестве материала для анализа деятельности отдельных ученых и организаций, а также для прогнозирования развития тех или иных направлений соответствующей тематической области, в нашем случае — акустики. DOI: 10.36535/0548-0019-2024-09-5.

25.01-01.7 Новые возможности сайта архива «Акустического журнала». Горшков А.В., Шамаев В.Г. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5, с. 801-804. Рус.

Приводится актуальное состояние Архива «Акустического журнала» с описанием его англоязычной части. Обсуждаются перспективы развития Архива в связи с расхождением на-

полнения журнала с его англоязычным вариантом «Acoustical Physics». Комментируется получившее распространение на-

правление в доступе к научной литературе «Open Access».

Персоналии

25.01-01.8 Рождение сибирского спутникостроения. Амбулатов Э.Ш. *Сибирский аэрокосмический журнал*. 2024. 25, № 3, с. 280-281. Рус.

25.01-01.9 Инновационные технические решения, разработанные под руководством М. Ф. Решетнева при создании первой сибирской ракеты-носителя "Космос-3М". Назаров В.П., Головёнкин Е.Н., Пиунов В.Ю. *Сибирский аэрокосмический журнал*. 2024. 25, № 3, с. 282-294. Рус.

Академик Михаил Федорович Решетнев входит в число выдающихся ученых, конструкторов и организаторов производства, которые стояли у истоков развития ракетно-космической техники в нашей стране и внесли значительный вклад в отечественную и мировую космонавтику. В 2024 г. исполняется 100 лет со дня его рождения и 60 лет первого запуска ракеты-носителя (РН) «Космос-3», созданной под его руководством в Красноярском крае. В статье рассматриваются основные этапы проектирования, опытно-конструкторской отработки, летно-конструкторских испытаний и выхода на серийное производство ракеты. Отмечается, что создание РН осуществлялось, в основном, на производственной базе Красноярского машиностроительного завода. В хронологической последовательности описываются наиболее крупные события, связанные с организацией работы филиала ОКБ-1, который затем был преобразован в самостоятельное ОКБ. Показана роль личности М.Ф. Решетнева в решении сложных научно-технических, организационных и производственных проблем освоения новой техники в Сибирском регионе, удаленном от ракетно-космических и научных центров страны. Представлена информация о инновационных технических решениях, разработанных под руководством М.Ф. Решетнева при создании РН «Космос-3» и её последующей модификации. Отмечается, что М.Ф. Решетнев в своей научно-технической деятельности постоянно получал поддержку С.П. Королева и М.К. Янгеля, успешно сотрудничал с крупнейшими конструкторскими организациями, которые возглавляли В.П. Глушко, А.М. Исаев, В.Г. Сергеев и другие известные руководители и специалисты ракетно-космической промышленности.

25.01-01.10 Современник будущего. Фельдман Д.М. *Земля и Вселенная*. 2024, № 1, с. 73-97. Рус.

Александр Романович Беляев вошел в историю отечественной литературы как писатель-фантаст. Так его обычно характеризовали авторы многочисленных публикаций в советскую эпоху.

25.01-01.11 Советский фантаст Александр Беляев. Закутная О.В. *Земля и Вселенная*. 2024, № 1, с. 98-108. Рус.

Формальным поводом для того, чтобы написать об Александре Романовиче Беляеве, служит тот факт, что в конце 2023 г. журналу «Земля и Вселенная» была присуждена ежегодная премия имени Александра Беляева. Ее вручают в Пушкинском доме культуры, в том городе, где Александр Беляев жил несколько лет и где закончил свой земной путь страшной

военной зимой 1941—1942 гг.

25.01-01.12 Балдинская осень в моей жизни. Коноплева Н.П. *Физика элементарных частиц и атомного ядра*. 2024. 55, № 4, с. 1277-1295. Рус.

Обсуждается ситуация, сложившаяся в СССР в 60-е—70-е гг. XX в. в области релятивистской теории элементарных частиц, общей теории относительности и теоретической физики в целом вплоть до настоящего времени, а также вклад серии конференций, получивших общее название «Балдинская осень», в организацию научных исследований в этих областях знания.

25.01-01.13 Три столетия Академии наук: год за годом. Лопатин А.В. *Природа*. 2024, № 1, с. 3-47. Рус.

Российская академия наук подошла к своему трехсотлетию юбилею. Обзор основных событий ее истории позволяет видеть, что Академия наук в России всегда воспринималась властью и обществом как главное государственное научное учреждение, ответственное за организацию и проведение фундаментальных и прикладных научных исследований в стране на мировом уровне развития знаний, за технический прогресс, качество образования, безопасности, здравоохранения и культуры, а также противодействие обскурантизму и лженаучным тенденциям во всех сферах жизни.

25.01-01.14 Первый университет России: его изменения и преемственность сквозь века. Андреев А.Ю. *Природа*. 2025, № 1, с. 6-22. Рус.

В год 270-летия Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова представлен обзор его истории с акцентом на те изменения, которые пережила его организационная структура, состав профессоров, студентов. Показана изменяющаяся роль университета в российском обществе и государстве, преодоление им ряда трудностей в своей истории, которые завершились обретением современного статуса крупнейшей отечественной высшей школы.

25.01-01.15 Научное наследие Николая Егоровича Жуковского и авиация. Свищев Г.П. *Учен. зап. ЦАГИ*. 1972. 3, № 1, с. 1-18. Рус.

25.01-01.16 Феномен Виталия Анатольевича Зверева (к 100 летию со дня рождения). Диденкулов И.Н., Коротин П.И., Лучинин А.Г., Молежанов А.И. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 4. Рус.

Виталию Анатольевичу Звереву — выдающемуся ученому в области акустики и радиофизики, члену-корреспонденту РАН, лауреату Государственной премии СССР в области науки и техники, 3 ноября 2024 г. исполнилось бы 100 лет. Он ушел из жизни 6 марта 2024 года, немного не дожив до этой знаменательной даты. Наиболее характерной чертой научного стиля Виталия Анатольевича был его нестандартный изобретательский подход в решении тех задач, которые в разные годы оказывались среди наиболее актуальных и важных с практической точки зрения.

Классические проблемы линейной акустики и теории волн

Математическая теория распространения волн

25.01-01.17 Эволюция акустических возмущений в химически реагирующей газовой смеси CO₂/CO/O. Григорьев Ю.Н., Ершов И.В. *Теплофиз. и аэромех.* 2024, № 5, с. 903-914. Рус.

На основе полной системы уравнений акустики исследована эволюция акустических возмущений в высокотемператур-

ной реагирующей смеси углекислого и угарного газов и кислорода CO₂/CO/O в реакции диссоциации — рекомбинации, а также в неравновесных эндотермической реакции диссоциации CO₂ и экзотермической реакции дожигания угарного газа в кислороде. Использовалась реалистичная однотемпературная модель Аррениуса химической кинетики. В качестве стационарных условий среды принимались значения термодинамических параметров на траектории гиперзвукового полета в атмосфере Марса. Для реакции диссоциации — рекомбинации с отри-

цательным тепловым эффектом вблизи химического равновесия в асимптотическом высокочастотном пределе показано затухание акустических возмущений. В тех же условиях на фоне неравновесной экзотермической реакции имеет место усиление, а на фоне неравновесной эндотермической реакции — затухание акустических колебаний. Ключевые слова: акустические возмущения, неравновесные химические реакции, усиление (ослабление) высокочастотных колебаний, влияние знака теплового эффекта реакции.

25.01-01.18 Вибрационное возбуждение и бифуркация круглой струи при небольших числах Рейнольдса. Шевченко А.К., Яковенко С.Н. Теплофиз. и аэромех. 2024, № 5, с. 915-939. Рус.

Представлены результаты численного моделирования затопленной струи, истекающей из отверстия диаметром D со скоростью U , при введении механических колебаний (вибраций) сопла частотой f . Применение вибрационного возбуждения приводит к бифуркации струи при числе Рейнольдса $Re = DU/\nu > 50$ в широких диапазонах амплитуды колебаний Z_0 , числа Струхала $St = fD/U$ и оказывается аналогичным акустическому воздействию. Полученные оценки характерной толщины струи и угла ее расширения α , выполненные для изучения влияния параметров Z_0 , Re и St , позволяют выявить оптимальные значения числа Струхала St_{opt} , при которых процесс расщепления оказывается наиболее выраженным. Подтверждены отмеченные ранее эффекты роста угла α с повышением амплитуды возбуждения и насыщения после некоторых пороговых значений амплитуды Z_0 . Полученные результаты также свидетельствуют о том, что при снижении Re возрастает пороговая амплитуда, выше которой происходит насыщение по α , и значительно падают максимально возможные значения α . Обнаружено влияние Re на оптимальное число Струхала: при снижении Re от 3000 до 100 значения St_{opt} заметно падают. Ключевые слова: круглая струя, вибрационное возбуждение, бифуркация струи, число Струхала, угол расширения, численные эксперименты.

25.01-01.19 Формирование диаграммы направленности широкополосного излучателя системы акустического зондирования. Булкин В.В., Васильев Г.С., Курилова-Харчук С.М., Курилов И.А. Физические основы приборостроения. 2024, 13, № 3, с. 118-127. Рус.

Предложена система частотной коррекции характеристик диаграммы направленности акустической антенной решетки. Система позволяет улучшать параметры антенны путем применения частотного разделения спектра излучаемого сигнала с последующим пространственным разделением сигналов по элементам решетки. Проводится анализ характеристик и представлены результаты моделирования системы.

25.01-01.20 Вариант расчета обтекания тонкой пластины с использованием модели Навье—Стокса—Фурье. Красавин Е.Э., Никитченко Ю.А. Учен. зап. ЦАГИ. 2024, 55, № 3, с. 42-49. Рус.

Предложен метод расчета обтекания тонкой пластины бесконечного размаха, установленной параллельно потоку. Решение строится на базе модели Навье—Стокса—Фурье (НСФ) с граничными условиями скольжения пограничного слоя на твердой поверхности. Метод предполагает наличие точки торможения на передней кромке бесконечно тонкой пластины. Численное решение задачи на линии тока, проходящей вдоль оси симметрии и поверхности пластины, представлено в виде средневзвешенного от традиционного решения вдоль всей линии тока и решения на линии симметрии с учетом точки торможения. Такой подход позволяет искусственно «притормозить» поток перед передней кромкой, что позитивно сказывается на распределении параметров газа вдоль поверхности пластины. Для тестирования предложенного метода использованы экспериментальные данные гиперзвукового обтекания острого клина потоком воздуха, расчеты по модельному кинетическому уравнению многоатомных газов, а также результаты расчетов других авторов, сравнивающих решения модели НСФ с кинетическими решениями. Численные тесты показали, что предложенный метод позволяет существенно улучшить результаты расчета распределения давления и нормального напряжения по поверхности пластины. В меньшей степени это относится к распределениям

температуры и плотности, хотя некоторое улучшение решений также имеет место.

25.01-01.21 Объемные волны, индуцированные сосредоточенными силовыми воздействиями. Ильяшенко А.В. Прикл. мат. и мех. 2024, 88, № 5, с. 738-744. Рус.

Анализируются объемные волны в изотропном упругом пространстве, распространяющиеся по линии действия сосредоточенной силовой особенности. Показано, что на линии действия силовой особенности помимо P -волны распространяется также S -волна. Отмечены ошибочные утверждения, обнаруженные в ряде публикаций, об отсутствии S -волн на линии действия силовой особенности. Ключевые слова: объемная волна, изотропия, силовая особенность, представление Гельмгольца, девиатор деформаций.

25.01-01.22 Трёхмерные широкоугольные параболические уравнения с разделением пропагаторов на основе конечных рядов Фурье. Yuldashev P.V., Konnova E.O., Karzova M.M., Khokhlova V.A. Акустический журнал. 2024, 70, № 5, с. pp. 783-796. Англ.

A possibility of constructing wide-angle diffraction models using Fourier series decomposition of the propagation operator of one-way wave equations is investigated. The propagation operator is considered as a function of the propagation step, reference wavenumber, and transversal Laplacian operator, which appears under the square-root of the pseudodifferential operator in the theory of one-way equations. It is shown that in this operator formalism, Fourier series decomposition approximates the one-way propagator by a weighted sum of exponential propagators, whose structure is similar to the propagator of the standard or small-angle parabolic equation. The exact propagator is modified using Hermite interpolation polynomials in order to achieve two crucial properties that guarantee fast convergence of the Fourier series: propagator periodicity and continuity of its derivatives. It is demonstrated that for three-dimensional diffraction problems, contrary to the standard split-step Pade approach, the proposed wide-angle propagation model allows for using efficient numerical methods and operator splitting procedures available for the standard parabolic equation. As a result, it is possible to organize computations separately along each of the two coordinate axes that are perpendicular to the predominant direction of wave propagation.

Рассеяние акустических волн

25.01-01.23 Рассеяние звуковых волн неоднородной упругой цилиндрической оболочкой конечной длины в полупространстве. Ефимов Д.Ю. Прикл. мат. и мех. 2024, 88, № 2, с. 299-312. Рус.

Получено аналитическое решение задачи дифракции плоской акустической волны на радиально-неоднородной толстостенной упругой цилиндрической оболочке конечной длины. Цилиндрическая оболочка находится в акустическом полупространстве, заполненном идеальной жидкостью. Граница полупространства является акустически жесткой или акустически мягкой поверхностью. Представлены результаты расчетов акустического поля в дальней зоне.

Упругие волны в твердых телах

25.01-01.24 Численное моделирование акустических устройств на примере резонатора Гельмгольца. Попов Ю.Н. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024, № 3(409), с. 117-127. Рус.

Объект и цель научной работы. Объект исследований — резонатор Гельмгольца с различными вариациями геометрических параметров, определяющих его резонансную частоту. Цели — обсуждение прикладных вопросов, касающихся численного моделирования акустических резонансных устройств, и сравнительный анализ результатов расчета нижней собственной частоты как одного из ключевых параметров таких устройств. Материалы и методы. В работе использовался метод конеч-

ных элементов для моделирования резонатора Гельмгольца и окружающей его безграничной воздушной среды, в которой распространялась плоская акустическая волна. Исследовалась амплитудно-частотная характеристика в контрольной точке в объеме резонатора, по которой определялась искомая резонансная частота. Основные результаты. Основными результатами являются расчеты амплитудно-частотной характеристики резонатора Гельмгольца с различными геометрическими параметрами на численной модели, позволяющей определить его резонансную частоту. Произведен сравнительный анализ результатов оценки резонансной частоты, полученный с помощью аналитической формулы и на численной модели. Осуществлена количественная оценка рассеянной энергии распространяющейся звуковой волны в волноводе с установленным резонатором Гельмгольца. Заключение. Известные аналитические выражения для оценки резонансной частоты резонатора Гельмгольца включают в себя учет различных эмпирических поправок, которые в общем случае не имеют универсального алгоритма применения. Использование современных численных методов позволяет без дополнительных поправок исследовать резонансные характеристики акустических устройств, как это показано на примере резонатора Гельмгольца. Ключевые слова: резонансная частота, резонатор Гельмгольца, добротность, метод конечных элементов.

25.01-01.25 Применение численных методов при моделировании распространения акустических волн в волноводах с резонансными поглотителями. Попов Ю.Н. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024, № 4(410), с. 193-200. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом исследования является волновод с резонансным поглотителем, позволяющий эффективно решать прикладные вопросы снижения негативного влияния шума при акустическом проектировании судна. Цели — аналитический анализ физических процессов и численное моделирование распространения и поглощения акустических волн в волноводах различного назначения. Материалы и методы. В работе использованы аналитические методы для описания физических принципов работы резонансных поглотителей, а также методы численного моделирования, позволяющие проводить расчет уровней акустических полей для моделей конструкций, максимально приближенных к реальным аналогам. Основные результаты. Проанализированы возможности описания процесса распространения и поглощения волны в волноводе с поглотителем резонансного типа. Показано, что возможны не только качественная, но и количественная оценка уровней снижения звукового поля, а также учет различных механизмов поглощения акустической энергии. Заключение. Решения прикладных задач судовой акустики о распространении и поглощении акустических волн посредством только аналитических методов имеют ряд ограничений, связанных с теорией дифракции, и возможны только в определенных приближениях реальной конструкции. Применение численных методов позволяет моделировать работу резонансных устройств с учетом различных физических процессов, приводящих к поглощению и рассеянию энергии, тем самым повышая точность оценки акустических характеристик, важных с прикладной точки зрения. Ключевые слова: волновод, резонансная частота, резонатор Гельмгольца, резонансный поглотитель, метод конечных элементов.

25.01-01.26 Об однонаправленном распространении волн Похгаммера—Кри в цилиндрическом акустике. Ампилов Д.В. Ученые записки физического ф-та МГУ. 2024, № 6, с. 2460101. Рус.

Средствами аппарата операторов проектирования были получены уравнения распространения однонаправленных волн Похгаммера—Кри для цилиндрического, аксиально-симметричного метаматериала-акустика, получены общие решения для правых и левых волн и их частные решения при экспоненциальных начальных условиях.

25.01-01.27 Щелевые сдвиговые волны в квази РТ-симметричной пьезоэлектрической гетероструктуре вблизи точки вырождения мод. Вилков Е.А., Бышевский-Конопко О.А., Калябин Д.В., Никитов С.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5, с. 663-671.

Рус.

Теоретически исследовано распространение щелевых сдвиговых волн в квазисимметричной структуре пьезоэлектриков класса симметрии 4mm. Было показано, что учет неодинакового уровня потерь и усиления в пьезоэлектриках приводит в спектре сдвиговых волн либо к пересечению, либо к касанию, либо к сближению двух мод в точке их вырождения (особой точкой). Установлено, что пересечение спектров мод происходит только в случае равных значений потерь и усиления (РТ-симметричная структура). Исходя из этого, делается вывод, что по характеру спектров вблизи особой точки можно определять уровень дисбаланса усиления и потерь в пьезоэлектрических волноводах. Как и в случае чисто РТ-симметричной структуры, частотная зависимость амплитуды в исключительной точке квази РТ-симметричной структуры (при достаточно небольшой разнице в уровнях потерь и усиления) обладает очень узким пиком, что открывает возможность создания сверхчувствительных датчиков на их основе. Таким образом, продемонстрировано, что даже при неодинаковых уровнях потерь и усиления в пьезоэлектриках (квази РТ-симметричная структура) можно получить структуру, обладающую всеми свойствами РТ-симметричной структуры.

Скорость и затухание акустических волн

25.01-01.28 Индуктивные скорости и акустические возмущения давления произвольно движущейся несущей нити в газе. Васкин В.Э. Учен. зап. ЦАГИ. 1972. 3, № 4, с. 1-8. Рус.

В линейной постановке рассмотрены поля звуковых давлений и индуктивных скоростей при криволинейном нестационарном движении несущей нити с дозвуковыми скоростями.

Стоячие волны, резонанс, нормальные моды

25.01-01.29 Применение пьезоэлектрического резонатора для восстановления параметров контактирующей жидкости. Семёнов А.П., Зайцев Б.Д., Тельных А.А., Бородина И.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 6, с. 815-827. Рус.

Исследовано влияние проводящих и непроводящих жидкостей на характеристики пьезоэлектрического резонатора с продольным электрическим полем, погруженного в жидкость. Резонатор, работающий на продольной акустической моде с резонансной частотой около 4 МГц, представлял собой диск из лангасита X-среза с круглыми электродами на обеих сторонах. Резонатор закрепляли в основании контейнера, который заполняли исследуемой жидкостью. Затем реальная и мнимая части его электрического импеданса в зависимости от частоты измерялись векторным анализатором цепей. Была построена модернизированная электромеханическая схема такого резонатора, учитывающая влияние проводимости и диэлектрической проницаемости жидкости на изменение эффективной площади электродов. Продemonстрирована возможность определения модуля упругости, коэффициента вязкости исследуемой жидкости и величин дополнительных элементов эквивалентной схемы путем фиттинга рассчитанных частотных зависимостей комплексного электрического импеданса резонатора, погруженного в жидкость, к измеренным зависимостям.

Волноводы, волны в трубах и направляющих системах

25.01-01.30 Самовозбуждение колебаний газа в трубе с закрученным пламенем. Ларионов В.М., Малашов А.О., Иовлева О.В., Семенова Е.В., Ларионова И.В. Теплофизика высоких температур. 2024. 62, № 1, с. 150-153. Рус.

Работа посвящена исследованию пульсационного горения в камере сгорания с закрученным потоком. Экспериментально определены условия возбуждения и характеристики акустических колебаний газа в трубе с тангенциальной подачей смеси пропан-бутанового топлива с воздухом. Обнаружена аномаль-

ная зависимость частоты колебаний газа от коэффициента избытка воздуха α : минимум при $\alpha=1$ и локальный максимум при $\alpha \approx 1.15$. При $\alpha=1$ колебания газа имеют максимальную амплитуду. Показано, что на частоту колебаний существенно влияют аксиальный градиент скорости звука в трубе, его зависимость от амплитуды колебаний газа.

25.01-01.31 Распространение звука в каналах с импедансными стенками при наличии воздушного потока. Часть 1. Затухание звуковых волн в каналах. *Леонтьев Е.А., Мунин А.Г. Учен. зап. ЦАГИ.* 1979. 10, № 2, с. 50-58. Рус.

Изложены результаты исследования затухания звука и оптимизации этого затухания в цилиндрическом и кольцевом каналах с однородным осевым потоком. Получены и решены с помощью ЭВМ уравнения, позволяющие находить оптимальные значения импеданса стенок канала. На примере низших по порядковому номеру мод проанализирована зависимость оптимального импеданса от числа Маха потока, безразмерной частоты, отношения внутреннего диаметра канала к внешнему. Исследована зависимость затухания от частоты для различных мод цилиндрического канала, когда на заранее выбранной частоте для определенной моды достигается оптимум затухания, т. е. при оптимальном импедансе стенок. На основе анализа простейшей модели генерации звука с помощью точечного источника в цилиндрическом канале с импедансными стенками показано, что оптимальные импедансы являются предпочтительными с точки зрения увеличения затухания не только отдельных мод, но и суммарного затухания.

25.01-01.32 О распространении звука в каналах с импедансными стенками при наличии воздушного потока. Часть II. Оптимизация затухания звука в каналах. *Гладенко А.Ф., Леонтьев Е.А. Учен. зап. ЦАГИ.* 1982. 13, № 3, с. 61-68. Рус.

Приведены результаты исследования затухания звука в цилиндрическом и кольцевом каналах с равномерным осевым потоком. Получены и решены с помощью ЭВМ уравнения, позволяющие находить оптимальные значения импеданса стенок канала. На примере низших по порядковому номеру мод проанализирована зависимость оптимального импеданса от числа М потока, безразмерной частоты и отношения внутреннего диаметра канала к внешнему. Исследована зависимость затухания от частоты для различных мод цилиндрического канала, когда на заранее выбранной частоте для определенной моды достигается оптимум затухания, т. е. при оптимальном импедансе стенок. На основе анализа простейшей модели генерации звука с помощью точечного источника в цилиндрическом канале с импедансными стенками показано, что оптимальные импедансы являются предпочтительными с точки зрения увеличения затухания не только отдельных мод, но и суммарного затухания.

25.01-01.33 Полуаналитический подход к анализу распространения акустических волн в трехмерных шестигранных трубах FGM. A Semi-Analytical Approach for Analyzing Acoustic Wave Propagation in Three-Dimensional Hexagonal FGM pipes. *Raghib R., Naciri I., Khalfi H., Elmaïtouni L., Yu J., Benami A., Bybi A. Акустический журнал.* 2024. 70, № 6, с. pp1-24. Англ.

This study presents a semi-analytical approach for analyzing acoustic wave propagation in three-dimensional hexagonal functionally graded (FGM) pipes composed of Aluminum (Al) and silicon nitride (SN), employing the Legendre polynomial method. Two different configurations of FGM pipes, namely (SN/Al/SN) and (Al/SN/Al), are investigated by solving the governing motion equations. The characteristics of phase velocity and normalized frequency dispersion curves for various modes and frequencies are analyzed, revealing the complex wave behavior arising from the hexagonal structure. The study examines the effects of material gradients, pipe geometry, and boundary conditions, highlighting the strong influence of normal stresses on boundary conditions. Additionally, the distribution of acoustic wave energy is found to be mainly confined to the interior of the cylinder. Our results demonstrate a high level of agreement with existing research, affirming the precision and reliability of our method. The Legendre

polynomial method accurately captures wave propagation in functionally graded pipes, offering a versatile approach applicable to various structures. These findings provide valuable insights into acoustic wave behavior in functionally graded pipes, with potential applications in non-destructive testing, material characterization, and structural health monitoring.

См. также **25.01-01.27**

Излучение источников, импеданс, картины полей

25.01-01.34 Оценка амплитудно-частотной характеристики источника звука по измерениям в бассейне с отражающими границами. *Бахтин В.К., Вировлянский А.Л., Дерябин М.С., Казарова А.Ю. Акустический журнал.* 2024. 70, № 6, с. 838-843. Рус.

Приведены результаты лабораторного эксперимента по тестированию метода реконструкции звукового поля, возбуждаемого калибруемым источником в свободном пространстве, по измерениям поля, возбужденного тем же источником в бассейне с отражающими границами. Процедура реконструкции базируется на использовании эталонного акустического монополя и сопоставлении полей, излученных им из специально выбранных точек бассейна, с полем калибруемого источника. Выполнена оценка частотной зависимости интенсивности поля калибруемого источника, усредненной по сфере большого радиуса.

См. также **25.01-01.19**

Численные методы, компьютерное моделирование

25.01-01.35 Интенсификация гидратообразования при распространении слабой волны давления в пузырьковой жидкости. *Чиглицев И.А., Лепишин С.А., Гумалтдинов И.К. Теплофизика высоких температур.* 2024. 62, № 5, с. 713-721. Рус.

Представлена численная модель, описывающая распространение волны давления ступенчатого профиля малой амплитуды в пузырьковой среде, содержащей газ фреон-1212, при условиях гидратообразования. Рассмотрена динамика волн в каналах постоянного и переменного сечения. Проанализировано влияние поверхностно-активных веществ на склонность дробления пузырьков в соответствии с механизмом неустойчивости Кельвина—Гельмгольца.

25.01-01.36 Численное моделирование дифракции плоской подводной ударной волны на неподвижных составных телах вращения. *Карпенко В.В., Колтон Г.А. Труды Крыловского государственного научного центра.* 2023. № 4(406), с. 15-32. Рус.

Объект и цель научной работы. Рассмотрено воздействие плоской подводной ударной волны на жесткие неподвижные составные тела вращения с целью выявления особенностей изменения дифракционного давления на поверхности таких тел. Материалы и методы. Статья содержит результаты математического моделирования обтекания плоской ударной волной жестких составных неподвижных тел вращения. Метод моделирования основывается на численном решении линейных уравнений движения сжимаемой жидкости. Основные результаты. На основании предложенного подхода разработаны алгоритмы и при их реализации на ПВЭМ получены результаты, характеризующие изменение дифракционного давления на поверхности жестких неподвижных составных тел вращения при наложении на них под произвольным углом плоских ударных волн. Заключение. Разработанный научно-методический аппарат может быть использован для оценки предварительного анализа рационального выбора конструкций подводных технических средств и прогноза эпюр давлений на их поверхности при подготовке к экспериментам. Ключевые слова: подводная ударная волна, составное тело вращения, дифракция, давление, конечноразностный метод.

25.01-01.37 О точности разрывного метода Галерки-на внутри центрированных волн разрежения и в об-

ластях их влияния. *Ладонкина М.Е., Остапенко В.В., Тишкин В.Ф., Хандеева Н.А. Мат. моделир.* 2025. 37, № 1, с. 113-130. Рус.

Исследована точность двух схем разрывного метода Галеркина с кусочно-линейными решениями при расчете специальной задачи Коши для уравнений мелкой воды с разрывными начальными данными, точное решение которой содержит центрированную волну разрежения и не содержит ударную волну. Показано, что внутри центрированной волны разрежения и в области ее влияния решения обеих схем с различными порядками сходятся к разным инвариантам точного решения. Это приводит к снижению точности этих схем при вычислении вектора базисных переменных рассматриваемой задачи Коши.

25.01-01.38 Исследование схемы Галеркина с разрывными базисными функциями на примере задачи об однородной и изотропной турбулентности. *Босняков И.С., Волков А.В. Мат. моделир.* 2025. 37, № 1, с. 171-183. Рус.

Исследуются особенности применения метода Галёркина с разрывными базисными функциями высокого порядка точности для моделирования однородной и изотропной турбулентности. Рассматриваются уравнения Навье—Стокса на сетке с недостаточным разрешением, а также уравнения в постановке LES с моделью подсеточной вязкости Смагоринского. Уточняется способ задания турбулентных пульсаций скорости в начальных условиях. Варьируется схема вычисления конвективных потоков на гранях ячеек. Полиномиальное представление решения в ячейках позволяет увеличить разрешаемый участок энергетического спектра турбулентности. Показано, что при использовании модели подсеточной вязкости, настройка коэффициента CS универсальна для всех протестированных порядков схемы.

25.01-01.39 О параболизации уравнений распространения малых возмущений в двумерных пограничных слоях. *Бойко А.В., Демьянко К.В., Засько Г.В., Нечепуренко Ю.М. Теплофиз. и аэромех.* 2024, № 3, с. 423-440. Рус.

Работа посвящена моделированию распространения возмущений в вязких несжимаемых ламинарных пограничных слоях на основе линеаризованных уравнений распространения амплитуд возмущений. Наряду с численной моделью, основанной на полных линеаризованных уравнениях, рассмотрены три модели, основанные на уравнениях, полученных из полных исключением продольной компоненты градиента давления и/или вязких членов в продольном направлении. Модели сравниваются численно на примере генерации и развития возмущений в пограничном слое над слабо вогнутой пластиной. Делаются выводы о возможности одними и теми же упрощенными моделями адекватно моделировать как волны Толлмина—Шлихтинга, так и вихри Гёртлера в диапазоне параметров, имеющих практическое значение.

25.01-01.40 Моделирование динамики взаимодействия падающей капли с бифильной поверхностью. *Васильев М.М., Терехов В.В. Теплофиз. и аэромех.* 2024, № 4, с. 677-688. Рус.

Выполнено численное моделирование динамики взаимодействия капли с бифильной поверхностью на основе метода решеточных уравнений Больцмана с множеством времен релаксации (MRT-LBM). Бифильная поверхность представляла собой супергидрофильный круг, расположенный на супергидрофобной плоскости. В работе приведены аспекты растекания капли при ее ударе о центр супергидрофильного пятна, отскока и формирования остаточной капли при вариации размера супергидрофильной области. В результате выделены три характерных режима взаимодействия капли с бифильной поверхностью: отрыв капли от поверхности, переходной режим, прилипание. Кроме того, проанализированы поля скоростей внутри капли на протяжении всего процесса взаимодействия.

25.01-01.41 Формирование возвратного течения за диском Маха при различных числах Рейнольдса. *Кудрявцев А.Н., Кашковский А.В., Шершнёв А.А. Теплофиз. и аэромех.* 2024, № 5, с. 873-878. Рус.

Численно, на основе уравнений Навье—Стокса, исследуется вопрос о существовании возвратного течения за диском Маха в первой бочке сверхзвуковой недорасширенной струи. Показано, что существование возвратного течения зависит от числа Рейнольдса: оно возникает при низких значениях числа Рейнольдса и исчезает, когда число Рейнольдса превышает некоторую величину. Таким образом, для экспериментального наблюдения этого парадоксального явления необходимо проведение экспериментов со струями достаточно разреженного газа. Ключевые слова: сверхзвуковые неизобарические струи, ударно-волновая структура, осесимметричное течение, разреженный газ, влияние вязких эффектов.

25.01-01.42 Численное и физическое моделирование генерации и эволюции вихревых колец в крупномасштабном гидрофизическом бассейне. *Монахов Р.Ю., Родионов А.А., Капранов И.Е., Шпилев Н.Н., Яковчук М.С. Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2024. 17, № 4, с. 55-70. Рус.

Статья посвящена исследованиям процесса генерации и эволюции вихревых колец, формирующихся в водной среде при выбросе струи воды в затопленный объем. Представлены расчётные данные по известным из литературы соотношениям, а также результаты моделирования по вновь созданной методике. Обоснованы характеристики генератора вихревых колец в составе моделирующего стенда, созданного на базе крупномасштабного гидрофизического бассейна. Экспериментальные исследования проводились в условиях температурной стратификации среды и с разницей температур воды струи и бассейна. Результаты экспериментов по формированию и движению вихревых колец удовлетворительно соответствуют расчетным данным. При этом влияние сформированной в бассейне стратификации на характеристики вихревых колец оказалось незначительным. Выявлено существенное влияние безразмерной длины струи на основные характеристики вихревых колец и разницы между температурой воды на горизонте их формирования и температурой струи на траекторию движения колец.

25.01-01.43 Взаимодействие волны давления с трещиновато-пористой зоной в пористой среде. *Губайдуллин А.А., Болдырева О.Ю., Дудко Д.Н. Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки.* 2024. 166, № 3, с. 331-342. Рус.

Численно исследовано распространение волны сжатия в пористой среде, содержащей трещиновато-пористую зону. Исследование проведено с использованием двухскоростной модели пористой среды и трехскоростной модели трещиновато-пористой среды. Задача исследована в двумерной постановке. Рассмотрены случаи, когда пористая среда имеет свободную поверхность или является неограниченной. Трещиновато-пористая зона имеет границу в форме эллипса или прямоугольника. Изучено влияние таких неоднородностей на картину распространения возмущений давления.

25.01-01.44 О задаче деградации композитных балок при продольном изгибе и методе решения при больших перемещениях. *Каюмов Р.А., Мухамедова И.З., Хайдаров Л.И., Тазюков Б.Ф. Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки.* 2024. 166, № 3, с. 364-376. Рус.

Предложены определяющие соотношения и методика анализа поведения стеклопластика при совместном воздействии силовых факторов и щелочной среды при продольном изгибе. Описаны модели натурного и численного экспериментов. Предложен новый подход к решению задачи о продольном изгибе балки с начальной прогибью без привлечения геометрически нелинейных соотношений. Такой подход может быть использован в тех случаях, когда результирующая конфигурация балки представляет собой пологую кривую. Приведены результаты числовых расчетов. В первом случае рассмотрен брус с начальной прогибью на основе предложенного подхода и с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Для верификации во втором случае решена задача в геометрически нелинейной постановке. Установлено характерное согласование полученных результатов.

25.01-01.45 Колебания пластин и оболочек с присо-

единенной массой. *Султанов Л. У., Гарифуллин И. Р. Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки. 2024. 166, № 3, с. 426-434. Рус.*

Решена задача о колебании пластин и оболочек с массой, присоединенной в точке. При построении математической модели использована гипотеза недеформируемых нормалей, на основе которой выведена система разрешающихся динамических уравнений оболочки с массой, где неизвестными являются прогиб и функция напряжения. Задача решена численно-аналитически. В соответствии с граничными условиями прогиб оболочки представлен в виде двойных тригонометрических рядов. Переход от исходной динамической системы к решению конечной системы обыкновенных дифференциальных уравнений осуществлен с помощью метода Бубнова—Галеркина. Для интегрирования по времени применен метод конечных разностей.

25.01-01.46 Численное моделирование сложных задач аэрогазодинамики методом "крупных частиц" II. Асимптотика звуковых течений. Методические расчеты. Белоцерковский О. М., Давыдов Ю. М. Учен. зап. ЦАГИ. 1977. 8, № 4, с. 1-9. Рус.

Рассматриваются случаи звукового обтекания плоского клина и цилиндрического торца. Приводится сравнение результатов численных расчетов с асимптотиками Овсянникова—Франкля и Гудерлея—Фальковича. Производится тестирование для контроля правильности постановки граничных условий: расчет на различных сетках, «отодвигание» границ расчетной области и др.

25.01-01.47 Численное моделирование кромочного шума с применением метода на основе синтетической турбулентности. Балакирева Н. В., Суворов А. С. Прикл. мат. и мех. 2024. 88, № 5, с. 758-777. Рус.

Представлен подход к численному моделированию широкополосного шума, возбуждаемого турбулентными пульсациями жидкости в присутствии упругого тела, методом на основе синтетической турбулентности. Наиболее распространенные существующие методы решения данной задачи требуют большого объема вычислений, что в случае реальных технических приложений приводит к практически невыполнимым требованиям к вычислительным ресурсам. Сокращение объема вычислений может быть достигнуто для класса задач, в котором реализуется безотрывное обтекание. В представленном методе пульсации скорости генерируются на основе информации об осредненных гидродинамических полях, путем пространственной фильтрации белого шума с заданными корреляционными характеристиками. Метод позволяет локализовать области с наиболее интенсивным шумоизлучением, а также интерпретировать полученный результат, анализируя особенности гидродинамического потока и свойства упругой конструкции. Представлена верификация метода на примере задачи о шумоизлучении фрагмента реальной технической конструкции, обтекаемой потоком жидкости.

25.01-01.48 Учет вязких и термических эффектов во времени в вычислительных задачах акустики. Корольков А. И., Лаптев А. Ю., Шанин А. В. Акустический журнал. 2024. 70, № 6, с. 933-940. Рус.

Исследуется задача распространения акустических волн с термовязкими граничными условиями. Для термовязких граничных условий формулируется временная постановка, основанная на понятии дробной производной. Дается слабая формулировка задачи, которая с помощью метода конечных элементов сводится к системе интегро-дифференциальных уравнений типа Вольтерры. Для численного решения данной системы строится неявная конечно-разностная схема. Для ее верификации моделируется задача о распространении звука в тонкой трубе, результаты численного моделирования сравниваются с аналитическим решением.

См. также **25.01-01.18, 25.01-01.22, 25.01-01.24, 25.01-01.25**

Методы измерений и инструменты

25.01-01.49 Метод расчета шума реактивной струи при наличии экранирующей поверхности. Власов Е. В., Гедьичин В. А., Каравосов Р. К. Учен. зап. ЦАГИ. 1982. 13, № 1, с. 30-38. Рус.

Предложен метод расчета, позволяющий учитывать экранирование шума реактивной струи элементами конструкции самолета. При этом реактивная струя рассматривается как сложный источник шума, характеристики которого определяются на основе подробных данных о микроструктуре течения в зоне смещения струи. Выполнено сопоставление полученных результатов с экспериментальными измерениями и с расчетом на основе использования упрощенной модели струи как источника шума.

См. также **25.01-01.34**

Колебания распределенных систем, вибрации, структурная акустика

25.01-01.50 Расчётно-экспериментальные исследования динамических характеристик макета рамы телескопа космического аппарата. Иголкин А. А., Сафин А. И., Кузнецов А. В. Сибирский аэрокосмический журнал. 2024. 25, № 4, с. 423-432. Рус.

Представлено расчётно-экспериментальное исследование динамических характеристик макета рамы телескопа космического аппарата. Основное внимание уделено методике проведения вибродинамических испытаний с использованием трёхкомпонентного лазерного виброметра и созданию конечно-элементной модели исследуемого макета. Для анализа динамики конструкции определены основные критерии, такие как модальные параметры, валидация модели и гармонический анализ. Особое внимание уделяется влиянию преобразования экспериментальных данных на точность расчёта критерия модальной достоверности. Исследован макет рамы телескопа, представляющий собой ферменную конструкцию, закреплённую на пружинах. Испытания проводились путём приложения случайного воздействия типа «белый шум». Получены динамические характеристики конструкции, включая собственную частоту колебаний, которая составила 93,7 Гц. Экспериментальные данные сравнивались с результатами конечно-элементного моделирования, показавшими значительное расхождение между ними, особенно в области собственных частот. Это свидетельствует о необходимости корректировки конечно-элементной модели. Рассмотрены различные критерии оценки соответствия расчётных и экспериментальных моделей, такие как координатный критерий модальной достоверности (COMAC), критерий модальной достоверности (MAC), взаимный критерий гарантии (CSAC) и взаимный коэффициент пропорциональности (CSF). Эти критерии помогают оценить степень совпадения форм колебаний и частотных характеристик. Проведён анализ влияния преобразований экспериментальных данных в разные единицы измерения на результаты расчётов этих критериев. Сделан вывод о том, что текущая расчётная модель требует доработки и уточнения параметров для достижения лучшего соответствия с реальностью.

25.01-01.51 Исследование вибраций толстолистовой конструкции с акустическим покрытием. Кирпичников В. Ю., Савенко В. В., Смольников В. Ю., Виноградов А. В. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024, № 1(407), с. 93-99. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом является толстолистовая судовая конструкция. Цель исследования — определение вибраций конструкции с акустическим покрытием. Материалы и методы. Измерение спектров вибрации конструкции без акустического покрытия и при его установке. Основные результаты. Выявлен частотный диапазон увеличения покрытия уровнем вибрации демпфируемой конструкции. Заключение. Показано, что причиной роста уровней вибрации являются упругие колебания листов покрытия. Ключевые слова: толстолистовая конструкция, вибрация, акустическое покрытие, эффективность.

25.01-01.52 Влияние массовых параметров армированного вибропоглощающего покрытия на его эффек-

тивность. *Кирпичников В.Ю., Савенко В.В., Сятковский А.И. Труды Крыловского государственного научного центра.* 2024, № 1(407), с. 100-106. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом является армированное вибропоглощающее покрытие, содержащее тонкий слой полимерной пленки на основе поливинилацетата и армирующий слой различной толщины из алюминия и стали. Цель исследования — анализ зависимости эффективности покрытия от его массовых параметров. Материалы и методы. Измерения спектров вибрации пластин при отсутствии и наличии покрытия. Основные результаты. Получены зависимости эффективности покрытия от его относительной массы и отношения массы армирующего слоя к массе полимерной пленки. Заключение. Показано, что полученные результаты могут быть использованы при выполнении работ по уменьшению уровней вибрации и шумов излучения функционально-градиентных инженерных конструкций. Ключевые слова: армированное вибропоглощающее покрытие, полимерная пленка, массовые параметры, эффективность.

25.01-01.53 Фундаментальные решения нестационарной динамики анизотропной цилиндрической оболочки Тимошенко. *Сердюк Д.О. Труды МАИ.* 2024, № 4(139), с. <https://trudymai.ru/published.php?ID=183453>. Рус.

Построены нестационарные фундаментальные решения для тонкой упругой анизотропной неограниченной цилиндрической оболочки Тимошенко. Связь фундаментальных решений с нестационарным делением при помощи интегральных операторов позволяет исследовать волновые процессы в таких анизотропных оболочках. Фундаментальные решения построены с применением экспоненциальных рядов и интегральных преобразований Лапласа и Фурье. Обратное интегральное преобразование Лапласа построено при помощи вычетов, а оригиналы по Фурье — с применением метода интегрирования быстро осциллирующих функций. Продемонстрировано влияние симметрии упругой среды на характер распространения волн в оболочке. Приведен пример расчета нормального перемещения анизотропной оболочки в случае действия двух подвижных нагрузок с переменными во времени амплитудами.

25.01-01.54 Расщепление собственных частот упругой тонкостенной оболочки со случайными малыми неосесимметричными отклонениями параметров геометрии. *Нарайкин О.С., Сорокин Ф.Д., Козубняк С.А. Мат. моделир.* 2025, 37, № 1, с. 81-95. Рус.

Разработаны метод и алгоритм численного определения вероятностных характеристик расщепления собственных частот упругой тонкостенной оболочки с произвольными малыми случайными неосесимметричными отклонениями параметров геометрии. Предлагаемый алгоритм позволяет определять вероятностные характеристики расщепления частот неидеальных оболочек как непосредственно по результатам измерений случайных несовершенств их геометрии, так и при наличии полных статистических данных об указанных несовершенствах. Приведены результаты численных расчётов конкретных оболочек.

25.01-01.55 Распространение объемных волн в функционально-градиентных балках с дефектами. *Tang T., Gao J., Jin C., Huang X. Физическая мезомеханика.* 2024, 27, № 6, с. 127-131. Рус.

Интерес к анализу распространения волн обусловлен его востребованностью в различных областях, таких как неразрушающий контроль и мониторинг состояния конструкций. В настоящей работе распространение волн в функционально-градиентных балках с дефектами исследовано в рамках уточненной теории деформации сдвига высшего порядка с помощью аналитического метода, основанного на использовании экспоненциальной функции. На основе разработанной модели гомогенизации с учетом пористости проведен анализ влияния дефектности на дисперсию волн в пористых балках. В изучаемых функционально-градиентных балках свойства изменяются по толщине. Согласно традиционной модели пористости свойства материала имеют линейную зависимость от коэффициента пористости. Однако в действительности эта зависимость нелинейная, что имеет экспериментальное подтверждение. Для описания взаимодействия пористой балки с основанием использова-

ны двухпараметрические модели Винклера и Пастернака. Влияние окружающей среды исследуется в условиях равномерного изменения температуры. На основе принципа Гамильтона получены уравнения движения функционально-градиентных балок с дефектами. Найдено аналитическое решение полученных определяющих уравнений. Рассмотрено влияние волнового числа, коэффициента пористости, изменения температуры, градиента, отношения длины к толщине и коэффициентов Винклера и Пастернака на распространение волн в пористых функционально-градиентных балках. Ключевые слова: распространение волн, дефектность, пористая функционально-градиентная балка, упругое основание, теория деформации сдвига высшего порядка.

25.01-01.56 Расширение квазиравновесного звукового потока релаксирующей смеси у края плоской пластинки. *Ни А.Л., Рыжов О.С. Учен. зап. ЦАГИ.* 1978, 9, № 3, с. 73-80. Рус.

Рассматривается разворот равномерного потока химически активной смеси у края плоской пластинки в предположении, что макроскопическое время много больше времени протекания химической реакции, а скорость частиц в невозмущенном состоянии равна равновесной скорости звука. Кроме того, построены поля вспомогательных течений вокруг конфигураций, состоящих из пластинки с расположенными позади нее параболическими стенками. Показано, что искомое решение представляет собой неравномерный предел последовательности функций, задающих параметры вспомогательных течений, когда параболическая стенка отодвигается на бесконечность.

25.01-01.57 Об одном виде автоколебаний колес шасси самолета. *Гончаренко В.И. Учен. зап. ЦАГИ.* 1985, 16, № 5, с. 67-73. Рус.

Установлен механизм обратной связи, обуславливающий возникновение автоколебаний при торможении катящихся колес. Энергетически эти колебания, внешне проявляющиеся как шимми, объясняются изменением тормозных сил на пневматиках. Построена модель обратной связи и дано качественное описание условий возникновения и характера неустойчивости. Исследованы условия возбуждения автоколебаний на примере одной из простейших моделей установившихся колес, на которой может реализоваться данный вид автоколебаний.

25.01-01.58 Расчет гибких стержней, обладающих изгибной жесткостью. *Мирошник Р.А. Учен. зап. ЦАГИ.* 1990, 21, № 5, с. 134-138. Рус.

Гибкие стержни широко распространены в самых различных областях техники, таких, как текстильное производство, линии электропередач и канатные дороги, шланги для перекачки жидкости, упругие элементы приборов и др. Расчет напряженно-деформированного состояния гибких стержней в случае больших перемещений связан с решением нелинейных дифференциальных уравнений.

25.01-01.59 Задача трехточечного изгиба упругой балки из пористого металла. *Аннин Б.Д., Садовский В.М., Садовская О.В. Прикл. мат. и мех.* 2024, 88, № 2, с. 217-227. Рус.

С помощью численных методов строится решение физически и геометрически нелинейной задачи трехточечного изгиба упругой балки прямоугольного сечения из пористого металла. В отличие от классического варианта задачи для однородной балки учитывается неоднородность по сечению из-за уплотнения материала за счет схлопывания пор, которое происходит в зоне сжатия при достаточно больших прогибах. Для описания упругого состояния пористого металла применяется диаграмма “напряжение-деформация” бимодульной среды. Приводятся результаты расчетов сильного изгиба балки из пеноалюминия низкой пористости, демонстрирующие отличие решения в сравнении с аналогичными решениями для балок из однородного пористого и уплотненного материала.

25.01-01.60 К задаче о нелинейных колебаниях консервативной системы при отсутствии резонанса. *Маркеев А.П. Прикл. мат. и мех.* 2024, 88, № 3, с. 347-358. Рус.

Разработан аналитический алгоритм нахождения частот нелинейных колебаний консервативной системы с двумя сте-

пенями свободы вблизи ее устойчивого положения равновесия. Предполагалось, что в системе нет резонансов до четвертого порядка включительно, т. е. отношение частот малых линейных колебаний не равняется единице, двум или трем. В качестве приложения рассмотрена задача о нелинейных колебаниях материальной точки на неподвижной абсолютно гладкой поверхности в однородном поле тяжести; указана оценка меры колмогоровского множества начальных условий, для которых движение точки является условно-периодическим. Рассмотрена также нелинейная консервативная система, в которой отсутствуют резонансы любого порядка. Система представляет собой маятник, образованный двумя скрепленными шарниром тонкими стержнями одинаковой длины и веса. Изучен характер нелинейных колебаний этого маятника в окрестности его устойчивого равновесия на вертикали.

25.01-01.61 Гашение продольных колебаний упругого стержня с помощью пьезоэлектрического элемента. Костин Г.В. Прикл. мат. и мех. 2024. 88, № 4, с. 525-539. Рус.

Исследуется возможность гашения продольных колебаний тонкого однородного упругого стержня при воздействии на него нормальной силы в поперечном сечении. Эта переменная во времени сила, которая может возбуждаться, например, с помощью пьезоэлектрических элементов, однородно распределена по длине на заданном сегменте консольно закрепленного стержня и равна нулю вне его. Представлены такие расположения концов сегмента, при которых возбуждаемая сила не влияет на амплитуду определенных мод. Найдено минимальное время, за которое можно погасить колебания всех остальных мод, и на основе метода Фурье построен в виде ряда соответствующий закон изменения демпфирующей силы. Дана обобщенная формулировка краевой задачи о переводе стержня за это время в нулевое терминальное состояние, для которой предложен алгоритм точного решения в случае рациональных соотношений на геометрические параметры. Незвестные функции состояния стержня ищутся в виде линейной комбинации функций бегущих волн и нормальной силы, которые определяются из линейной системы алгебраических уравнений, следующих из граничных соотношений и условий непрерывности. Проведено сравнение решений, полученных в рядах методом Фурье и в виде бегущих волн Даламбера.

См. также **25.01-01.43, 25.01-01.44, 25.01-01.45**

Волны в многофазных, пористых, резиноподобных средах, полимерах

25.01-01.62 Акустические волны в смеси воздуха с полидисперсными частицами алюминия. Губайдуллин Д.А., Зарипов Р.Р. Теплофизика высоких температур. 2024. 62, № 1, с. 147-149. Рус.

На основе ранее разработанной линейной теории по распространению и затуханию акустических волн в полидисперсных газовзвесах проведено сравнение теоретических и эксперимен-

тальных данных. Построены зависимости декремента затухания на длине волны от частоты возмущения для смеси воздуха с полидисперсными частицами алюминия. Показано, что применение полидисперсной модели в газовзвесах дает более точное описание эксперимента, чем использование монодисперсной модели.

25.01-01.63 Взаимодействие акустической волны с многослойной средой, содержащей слой вязкоупругой пузырьковой жидкости. Губайдуллин Д.А., Федоров Ю.В., Зарипов Р.Р. Теплофизика высоких температур. 2024. 62, № 4, с. 637-640. Рус.

Рассмотрена задача об отражении и прохождении акустической волны через многослойную среду, содержащую слой вязкоупругой жидкости с покрытыми упругой оболочкой пузырьками газа. Для системы «вода—акриловая пластина—пузырьковая жидкость—акриловая пластина—вода» рассчитаны коэффициенты отражения и прохождения волны и представлено сопоставление с экспериментальными данными. Проиллюстрировано влияние упругости несущей жидкости и оболочки пузырьков на отражение и прохождение волны через многослойную среду.

25.01-01.64 Особенности распространения волн Лэмба в функционально-градиентном слое. Каспарова Е.А., Кузнецов С.В. Прикл. мат. и мех. 2024. 88, № 3, с. 483-493. Рус.

С помощью модифицированного шестимерного формализма Коши исследовано распространение гармонических волн Лэмба в слоях из функционально-градиентных материалов (ФГМ) с поперечной неоднородностью. Для случая произвольной поперечной неоднородности выведено дисперсионное уравнение в замкнутой форме. Получены и сопоставлены дисперсионные соотношения для материалов с различными видами неоднородностей.

25.01-01.65 Особенности отражения акустических волн в воде от пузырьковой завесы, содержащей гидратные пузырьки. Гималтдинов И.К., Хусаинов И.Г. Прикладная механика и техническая физика. 2024. 65, № 4, с. 52-62. Рус.

С помощью методов математического моделирования исследована динамика акустического сигнала при прохождении через пузырьковую завесу. Рассматривается случай, когда газ (метан) внутри пузырьков находится в условиях гидратообразования. Изучено влияние процесса гидратообразования, а также начального радиуса пузырьков и объемной доли газа на коэффициент затухания и фазовую скорость волны, распространяющейся по глубоководной (находящейся на большой глубине) пузырьковой завесе. Получены коэффициенты отражения и прохождения звуковых волн на границах, разделяющих области одно- и двухфазных зон. Установлено, что процесс гидратообразования более чем на два порядка увеличивает коэффициент затухания волны в области низких (менее 1 кГц) частот.

См. также **25.01-01.35**

Нелинейная акустика

25.01-01.66 Новые методы акустического зондирования неоднородной морской среды на принципах нелинейной акустики. Есипов И.Б. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 3. Рус.

Приводятся сведения о дальнем распространении акустического сигнала параметрической антенны на дистанциях до 1000 км. Обсуждается выбор оптимальных характеристик параметрической антенны, при которых достигается максимальная эффективность преобразования излучения высокочастотной накачки в низкочастотный сигнал. Приводятся данные эксперимента об особенностях распространения широкополосного сигнала параметрической антенны в мелководном морском волноводе. Показано, что частотная дисперсия скорости распространения звука в морском волноводе приводит к компрессии ши-

рокопосного одномодового сигнала. Такая компрессия приводит к росту эффективности зондирования морской среды на протяженных трассах. Обсуждается возможность ветвистого распространения направленного акустического излучения в неоднородной среде. Показано, что роль нелинейных методов в акустике возрастает при дальнем распространении низкочастотных сигналов.

25.01-01.67 Среднее поле разрывных волн в одномерной случайно неоднородной среде. Алексеев Д.М., Гусев В.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 75. Рус.

Рассмотрены особенности построения уравнений для среднего поля интенсивных акустических сигналов, распространяющихся в случайно-неоднородной среде и содержащих разрывы во временном профиле. Проведено сравнение различных подхо-

дов к получению таких уравнений. Показано, что, несмотря на сглаживание профилей в среднем, наличие разрыва в профиле, необходимо учитывать до проведения операции усреднения. Получено точное выражение для среднего поля исходного трехгольного сигнала.

25.01-01.68 Экспериментальное исследование дифракции интенсивного акустического пучка на препятствии в виде полукрана. *Бахтин В.К., Гурбатов С.Н., Дерябин М.С., Касьянов Д.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 75. Рус.

Приводятся результаты физического эксперимента по исследованию процесса эволюции интенсивного акустического пучка после прохождения препятствия, которое представлено в виде полукрана, который делит пучок на две равные части по одной из координат и пропускает дальше лишь одну из них. Для формирования пучка использовался плоский пьезокерамический преобразователь с центральной частотой 2 МГц. Препятствие установлено за последним дифракционным максимумом. В исследуемой области за препятствием снята серия поперечных разрезов поля для различных расстояний от препятствия, а также для различных интенсивностей акустического пучка. Показано, что эволюция пучка за препятствием определяется совместным проявлением дифракционных и нелинейных эффектов. Продемонстрировано, что поведение пучка за препятствием существенно зависит от его интенсивности. Проведено численное моделирование на основе уравнений Хохлова—Заболотской—Кузнецова и Вестервелта, предварительные результаты которого подтверждают полученные экспериментальные результаты.

25.01-01.69 Трансформация сдвиговых волн с эллиптической поляризацией в кубично нелинейных средах. *Гусев В.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 75-76. Рус.

Рассмотрено распространение сдвиговых волн большой интенсивности с эллиптической поляризацией. Как известно, для сдвиговых волн в однородных средах основным типом нелинейности является кубичная. Получено точное решение, описывающее трансформацию временного профиля и поляризации сдвиговых волн с произвольной начальной поляризацией. Отмечено, что в зависимости от начальной поляризации реализуются различные условия распространения сдвиговых волн — от сильно нелинейного распространения для волн с линейной поляризацией до линейного распространения для волн с круговой поляризацией. В случае начальной круговой поляризации проявляется эффект нелинейной дисперсии — зависимости скорости волны от ее амплитуды, при этом нелинейного искажения временного профиля не происходит. Рассчитано искажение поляризации сдвиговых волн для исходной эллиптической поляризации. Предложены подходы к определению нелинейных параметров среды.

25.01-01.70 Особенности нелинейной генерации и распространения волны разностной частоты в неоднородном мелководном акустическом волноводе. *Квашенникова А.В., Юлдашев П.В., Есипов И.Б., Хохлова В.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 76. Рус.

Исследован процесс генерации и распространения акустической волны разностной частоты, генерируемой при нелинейном взаимодействии интенсивных высокочастотных волн накачки в мелководном акустическом волноводе с неоднородной по глубине скоростью звука. Задача решена численно в трехмерной постановке для квазилинейного и ударноволнового режимов работы подводного параметрического высокочастотного излучателя двухчастотной накачки с частотами 135—145 кГц и 150 кГц. Разработанная авторами ранее трехмерная численная модель решения параболического уравнения Хохлова—Заболотской—Кузнецова в спектральном представлении в свободном поле, позволяющая описывать режимы образования фронтов в профиле нелинейной волны, обобщается на случай неоднородной среды и учитывает наличие отражений от дна и поверхности, что приводит к большей локализации и дальности распространения низкочастотного излучения. Получены результаты для полей волн накачки и волны разностной частоты для различных моделей: изоскоростной волновод глубиной 2

м с мягкими границами и излучателем, расположенным на расстоянии 50 см от дна; свободное пространство с симметричным параболическим профилем скорости звука; полупространство с мягким дном и волновод с мягкими границами с полупараболическим профилем скорости звука, соответствующим данным экспериментов с подводным излучателем, расположенным ближе ко дну. Проанализированы отличия в структуре поля в квазилинейном и ударноволновом режимах работы излучателя.

25.01-01.71 Акустические явления при распространении интенсивной волны через трубку переменного сечения с учетом присоединенной массы. *Комаровский К.О., Гусев В.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 76. Рус.

Рассмотрены явления, возникающие при распространении акустических волн в узких трубках переменного сечения. Задан закон изменения поперечного сечения трубки специального вида. Исследован режим туннелирования волны через сужение узкой трубки, описываемой данным законом. Учтено влияние присоединенной массы на границах области сужения трубки. Построены частотные зависимости коэффициента прохождения волны по энергии, а также показаны отличия этих коэффициентов через трубку с присоединенной массой и без нее. Показано, что условия туннелирования ухудшаются: это выражается в уменьшении значения коэффициента прохождения волны в диапазоне частот, где наблюдался режим туннелирования без учета присоединенной массы, и в сокращении самого диапазона частот.

25.01-01.72 Влияние размеров центрального отверстия мощных фокусированных излучателей на параметры нелинейного ультразвукового поля в фокусе. *Нартов Ф.А., Карцова М.М., Хохлова В.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 77. Рус.

Для описания нелинейных эффектов в полях мощных излучателей фокусированного ультразвука, форма которых близка к аксиально-симметричной, удобной моделью является модель эквивалентного источника в виде сферического сегмента с равномерным распределением колебательной скорости на его поверхности. Параметры эквивалентного источника (диаметр, фокусное расстояние и амплитуда) подбираются таким образом, чтобы максимально точно аппроксимировать фокальную область поля исходного излучателя вдоль оси пучка. Для численного расчета нелинейных полей, создаваемых аксиально-симметричными фокусирующими источниками, существуют комплексы программ общего доступа, например, “NIFU-beam”. Большое число излучателей, использующихся в неинвазивной ультразвуковой хирургии, имеют аксиально-симметричную форму с круглым отверстием в центре для размещения диагностического датчика с целью визуализации воздействия. В данной работе было исследовано влияние размеров центрального отверстия в излучателе в виде сферического сегмента на параметры создаваемого им нелинейного поля в фокусе и оценка возможности применения модели эквивалентного источника без отверстия. Рассмотрены конфигурации излучателей с различными волновыми размерами, полными углами схождения (от 45 до 70°), диаметром центрального отверстия (до 70% от диаметра излучателя). Проведено сравнение нелинейных акустических полей, генерируемых исходными излучателями и соответствующими эквивалентными источниками. Показано, что присутствие центрального отверстия существенно влияет на параметры нелинейного поля в фокальной области. Установлено, что модель эквивалентного источника может быть применима лишь в случае малых диаметров отверстия в исходном излучателе (меньше 15% от диаметра излучателя).

25.01-01.73 Экспериментальное исследование нелинейных упругих свойств фотополимера. *Мизгалев Е.С., Кожийский А.И., Одина Н.И., Коробов А.И., Ширгина Н.В.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 77. Рус.

Фотополимерные материалы отличаются от других полимерных материалов тем, что их структура способна меняться под воздействием света. Это происходит благодаря наличию в составе фоточувствительных молекул, которые реагируют на определенные длины волн света, инициируя химические реакции полимеризации. Этот процесс позволяет фотополимерам

быть использованными в различных областях, таких как трехмерная печать, производство микросхем и медицина, где требуется точное и контролируемое формирование деталей. Ранее акустическими методами были исследованы зависимости коэффициента затухания и фазовой скорости от частоты, а также влияние параметров печати на механические свойства фотополимеров. Целью настоящей работы было экспериментальное исследование линейных и нелинейных упругих модулей образца фотополимера (марки anycubic basic), приготовленного методом 3D печати. Печать образца была осуществлена на 3D-принтере anycubic photon mono по технологии SLA-LCD из белой смолы anycubic basic с длиной волны полимеризации 405 нм. Измерения проводились методом Терстона—Браггера. Скорость распространения продольных и сдвиговых упругих волн в образце, измеренная эхо-импульсным методом в трех направлениях вдоль осей: X, Y, Z, оказалась в пределах погрешности эксперимента одинаковой, что позволило применить приближение изотропного твердого тела. Были определены все независимые компоненты тензора упругости второго и третьего порядка исследуемого образца.

Теория нелинейных акустических волн

25.01-01.74 Исследование спектра кавитационного шума в поле погружного ультразвукового излучателя. *Минчук В.С., Гаврилюк В.С., Дежжунов Т.А., Перхунова А.Ю., Дежжунов Н.В. Пробл. физ., мат. и техн. 2024, № 3(60), с. 13-17. Рус.*

Исследован ряд составляющих спектра кавитационного шума, используемых для оценки активности кавитации. Показано, что характер зависимостей исследованных параметров от интенсивности ультразвука различается для малых и больших расстояний от излучателя. Установлено, что связь исследованных параметров между собой характеризуется высокой степенью корреляции для близких расстояний от излучателя в условиях развитой кавитационной области. В кавитационной области вдали от излучателя эти параметры не связаны однозначно между собой и характеризуются низким уровнем корреляции. На основании полученных данных предложен подход к выбору оптимального метода оценки активности кавитации.

25.01-01.75 Моделирование неустойчивости Кельвина—Гельмгольца модифицированным методом дискретных вихрей. *Дынникова Г.Я. Учен. зап. ЦАГИ. 1991. 22, № 3, с. 25-34. Рус.*

Предложена модель свободного сдвигового слоя невязкой несжимаемой жидкости, формально сходная с моделью дискретных вихрей, но позволяющая учесть толщину слоя и движение частиц жидкости внутри него. Предложенная модель обладает близкими к реальным характеристиками устойчивости по отношению к возмущениям различной длины волны.

25.01-01.76 Особенности демодуляции импульсных акустических сигналов в сильно нелинейных режимах распространения. *Квашенникова А.В., Сергеева М.С., Юлдашев П.В., Есипов И.Б., Хохлова В.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5, с. 651-662. Рус.*

Рассмотрена одномерная нелинейная задача о параметрической генерации низкочастотного излучения в случае импульсного высокочастотного начального возбуждения, способного образовать ударные фронты в профиле волны. Развита численный алгоритм решения уравнения Бюргерса во временном представлении с использованием удароуправляющей схемы типа Годунова. Рассмотрены примеры распространения модельных частотно-модулированных сигналов с различной формой огибающей при различном соотношении нелинейных и диссипативных эффектов, ограничивающих длину взаимодействия волн накачки. Приводятся примеры эволюции профилей и спектров сигналов при самодемодуляции высокочастотного сигнала накачки, которая проявляется на меньших расстояниях при сильном проявлении нелинейных эффектов за счет дополнительного затухания энергии волны на образующихся ударных фронтах. Показано, что эффективность генерации низкочастотного излучения в ударноволновых режимах увеличивается.

См. также **25.01-01.56**

Распространение интенсивных волн, пилообразные и слабые ударные волны

25.01-01.77 О режимах распространения волны саморазложения ацетилена в ударно-нагретых потоках в трубах малых диаметров. *Герасимов Г.В., Михеева Е.Ю., Дракон А.В., Еремин А.В. Теплофизика высоких температур. 2024. 62, № 2, с. 287-296. Рус.*

Получены экспериментальные данные о динамике распространения ударной волны в ацетиле и ацетиленокислородных смесях, разбавленных аргоном, в трубе квадратного сечения 27×27 мм². Показано, что энерговыделение при саморазложении ацетилена в определенных условиях может приводить к пульсирующему ускорению фронта ударной волны, однако не формирует устойчивой детонации. В то же время, в стехиометрических ацетиленокислородных смесях формируется детонационная волна, параметры которой хорошо согласуются с расчетными параметрами Чепмена—Жуге. Кинетическое моделирование процесса саморазложения ацетилена и роста конденсированных частиц указало на несовершенство существующих механизмов пиролиза ацетилена и необходимость учета дополнительных каналов полимеризации углеводородных соединений, определяемых его уникальными свойствами.

25.01-01.78 О режимах распространения волны саморазложения ацетилена в ударно-нагретых потоках в трубах малых диаметров. *Герасимов Г.В., Михеева Е.Ю., Дракон А.В., Еремин А.В. Теплофизика высоких температур. 2024. 62, № 4, с. 287-296. Рус.*

Получены экспериментальные данные о динамике распространения ударной волны в ацетиле и ацетиленокислородных смесях, разбавленных аргоном, в трубе квадратного сечения 27×27 мм². Показано, что энерговыделение при саморазложении ацетилена в определенных условиях может приводить к пульсирующему ускорению фронта ударной волны, однако не формирует устойчивой детонации. В то же время, в стехиометрических ацетиленокислородных смесях формируется детонационная волна, параметры которой хорошо согласуются с расчетными параметрами Чепмена—Жуге. Кинетическое моделирование процесса саморазложения ацетилена и роста конденсированных частиц указало на несовершенство существующих механизмов пиролиза ацетилена и необходимость учета дополнительных каналов полимеризации углеводородных соединений, определяемых его уникальными свойствами.

25.01-01.79 Экспериментальное исследование влияния слабых ударных волн на ламинарно-турбулентный переход в пограничном слое стреловидного крыла при числе Маха 2,5. *Афанасьев Л.В., Ермолаев Ю.Г., Косинов А.Д., Семёнов Н.В., Шмакова А.В., Яцкиш А.А. Сибирский физический журнал. 2024. 19, № 4, с. 41-54. Рус.*

Рассматриваются экспериментальные результаты по воздействию слабых ударных волн на ламинарно-турбулентный переход в сверхзвуковом пограничном слое трехмерного крыла с углом стреловидности передней кромки 45° при числе Маха 2,5. Двумерная неровность поверхности размером $150 \times 7 \times 0,155$ мм, установленная на боковой стенке рабочей части аэродинамической трубы Т-325 ИТПМ СО РАН, создавала пару слабых ударных волн в набегающем потоке. Измерения выполнены термоанемометром постоянного сопротивления. Результаты экспериментов показывают, что слабые ударные волны оказывают влияние на ламинарно-турбулентный переход в сверхзвуковом пограничном слое трехмерного крыла и приводят к ранней турбулизации сдвигового течения. Наиболее сильное воздействие на переход к турбулентности в сверхзвуковом пространственном пограничном слое производит ударная волна, образованная обтеканием уступа от заднего края двумерной неровности. Вторая волна практически не влияет на положение перехода. В экспериментах также наблюдается влияние поперечного течения на стационарные вихри, вызванные взаимодействием слабых ударных волн с передней кромкой стреловидного крыла.

25.01-01.80 Исследование слабых ударных волн в носовой части тел с передней срывной зоной. *Сна-*

зич А.А., Шевченко В.И. Труды МАИ. 2024, № 4(138), с. <https://trudymai.ru/published.php?ID=182664>. Рус.

Проведен численный анализ обтекания цилиндрического тела с иглой сверхзвуковым потоком на основе метода моделирования крупных вихрей (Large Eddy Simulation, LES). В представленных численных и экспериментальных исследованиях получена уточненная структура возвратного течения в зоне рециркуляции при обтекании тела с передней срывной зоной. Показано, что применение LES-метода привело к повышению согласованности результатов моделирования с экспериментальными данными во всей области течения.

25.01-01.81 Экспериментальное исследование воздействия слабых ударных волн на течение в пограничном слое стреловидной пластины при числе Маха 2. Косинов А.Д., Семенов Н.В., Шмакова А.В., Яцкиж А.А. Теплофиз. и аэромех. 2024, № 3, с. 491-497. Рус.

Проведены экспериментальные исследования воздействия пары слабых ударных волн на сверхзвуковой пограничный слой плоской стреловидной пластины с радиусом притупления передней кромки 2,5 мм при числе Маха 2. Трансверсальные термоанемометрические измерения проводились в пограничном слое при фиксированном положении датчика от поверхности модели. Получено, что при изменении угла стреловидности передней кромки от 35 до 45 градусов наблюдается снижение интенсивности воздействия слабых ударных волн на течение в пограничном слое. Установлено, что при увеличении угла стреловидности передней кромки до 50 градусов наблюдается отсутствие влияния слабых ударных волн на течение в сверхзвуковом пограничном слое стреловидной пластины.

25.01-01.82 Воздействие слабых ударных волн на течение в пограничном слое стреловидной пластины при изменении угла скольжения при $M=2.5$. Афанасьев Л.В., Ермолаев Ю.Г., Косинов А.Д., Семенов Н.В., Яцкиж А.А. Учен. зап. ЦАГИ. 2024, 55, № 4, с. 13-20. Рус.

Представлены экспериментальные данные по исследованию воздействия слабых ударных волн (УВ) на течение в пограничном слое стреловидной пластины при числе Маха $M=2.5$. Угол стреловидности по передней кромке изменялся от 35 до 62° в процессе эксперимента. Возмущение в набегающий поток вводилось с помощью генератора слабых УВ, установленного на стенке рабочей части аэродинамической трубы. Измерения выполнены термоанемометром постоянного сопротивления в области продольных возмущений, порождаемых слабой ударной волной при взаимодействии с течением в окрестности передней кромки модели. Получено, что при изменении угла стреловидности по передней кромке от 35 до 42° наблюдается снижение интенсивности воздействия слабых УВ на течение в пограничном слое. При дальнейшем увеличении угла стреловидности передней кромки обнаружено отсутствие влияния слабых УВ на течение в сверхзвуковом пограничном слое стреловидной пластины по причине его ранней турбулизации.

25.01-01.83 Исследование дифракции ударной волны на цилиндре. Иванов А.Н., Чернявский С.Ю. Учен. зап. ЦАГИ. 1970, 1, № 6, с. 131-133. Рус.

Приведена методика экспериментального исследования импульса силы (интеграла силы по времени), сообщенного цилиндру при дифракции на нем сферической ударной волны. Измерения проводились на цилиндрах диаметрами 2–16 см. и удлинением 1:7, установленных на расстоянии 5,1 м от центра взрыва. Относительный перепад давления на фронте волны составлял 0,2; 0,5; 1 при начальных давлениях воздуха в диапазоне $(0,125-2,0) \cdot 10^5$ Н/м². Приведены величины максимальной силы, действующей на цилиндр в процессе дифракции, соответствующего ей момента времени, импульса силы, полученного цилиндром во время дифракции, и продолжительности этого процесса.

25.01-01.84 Вычисление сопротивления тела по форме головной ударной волны. Майкапар Г.И. Учен. зап. ЦАГИ. 1971, 2, № 6, с. 23-31. Рус.

На основании теорем сохранения массы и импульса, анализа порядка величин и численных результатов подтверждается

справедливость формулы для вычисления волнового сопротивления полубесконечного цилиндрического тела по форме головной волны. Формула может быть использована для определения сопротивления головных частей осесимметричных и цилиндрических тел по теневым снимкам течения.

25.01-01.85 Об особенностях структуры слабых ударных волн в релаксирующем газе. Полянский О.Ю. Учен. зап. ЦАГИ. 1971, 2, № 6, с. 55-61. Рус.

Дана классификация слабых ударных волн в релаксирующем газе. Приведены результаты расчета слабых ударных волн, включая волны с полной дисперсией, в среде с неравновесным возбуждением колебательных степеней свободы. Проведено сопоставление результатов, полученных на основе точной и линейной теорий (акустическое приближение).

25.01-01.86 Быстрая оценка характеристик звукового удара от сверхзвукового пассажирского самолета в стандартной атмосфере на основе аналитических решений: крейсерский режим. Rapid Estimation of the Sonic Boom Characteristics from Supersonic Passenger Aircraft in a Standard Atmosphere Based on Analytical Solutions: Cruise Mode. Корунов А.О., Гусев В.А., Горбовской В.С. Акустический журнал. 2024, 70, № 4, с. pp718-732. Англ.

A method is proposed for quickly estimating the sonic boom characteristics from supersonic passenger aircraft under standard atmospheric conditions. The piecewise linear temperature profile and absence of atmospheric wind make it possible to completely reduce the problem of the geometry of sonic boom wave propagation to an algebraic form. For acoustic pressure, an analytical solution is formulated using the nonlinear geometrical acoustics approach. The dependence of the geometry of sonic boom wave propagation on the cruising flight parameters of a supersonic passenger aircraft is analyzed. Under the conditions of SBPW (Sonic Boom Prediction Workshop) 2020, the overpressure signatures on the ground from the X-59 demonstrator were calculated.

25.01-01.87 Быстрая оценка характеристик звукового удара от сверхзвукового пассажирского самолета в стандартной атмосфере на основе точных решений. крейсерский режим полета. Корунов А.О., Гусев В.А., Горбовской В.С. Акустический журнал. 2024, 70, № 5, с. 725-739. 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.

25.01-01.88 Численное исследование движения абсолютно твердого тела при воздействии ударных волн. Лю Ц., Лэй Ц. Прикладная механика и техническая физика. 2024, 65, № 6, с. 40-64. Рус.

С использованием законов аэродинамики и динамики абсолютно твердых тел предложены численные методы исследования движения твердых тел при воздействии ударных волн. Изучено влияние массы и положения центра тяжести твердого тела на его движение. Из полученных результатов следует, что движение тела одинаково при различных зависимостях положительного давления от времени и различных массах тела. Тем не менее тело небольшой массы может изменить направление вращения. Показано, что с увеличением высоты, на которой расположен центр тяжести, также может измениться направление вращения, а наличие дифракции может вызвать дальнейшее вращение тела. При движении жесткого тела на его подветренной стороне скорость понижения давления уменьшается.

25.01-01.89 Захват воздуха при наклонном высокоскоростном ударе мелкой твердой сферы по поверхности жидкости. *Черданцев А.В., Квон А.З., Гаврилов Н.В., Ерманюк Е.В. Прикладная механика и техническая физика.* 2024. 65, № 6, с. 113-124. Рус.

Представлены результаты исследования косоугольного удара тяжелых твердых шариков диаметром 6 мм о невозмущенную поверхность воды с использованием метода высокоскоростной визуализации. Проведено сравнение динамики взаимодействия тела с жидкостью в случаях рикошета и погружения шарика. Установлено, что при ударах с погружением за счет столкновения краев "короны генерируемой на границах каверны, и формирования струи, пробивающей дно каверны и увлекающей пузырьки воздуха, наблюдается интенсивный захват пузырьков воздуха в следе за телом. Изучено влияние плотности материала шариков, а также скорости и угла удара на сценарий взаимодействия шарика с жидкостью. Результаты сравнения с проведенными ранее экспериментами показывают, что уменьшение размера шарика приводит к уменьшению критического угла, а увеличение скорости удара — к его увеличению. Такое поведение не объясняется в рамках теоретических подходов, развитых ранее для случаев ударов крупных сфер, поскольку эти подходы не учитывают динамику струи жидкости, генерируемой перед телом, а также смену схемы обтекания в целом.

См. также **25.01-01.76**

Нелинейная акустика твердых тел

25.01-01.90 Упругие волны и их столкновения с N -краудинами в 3D компьютерной модели ГЦК кристалла Ni. *Медведев Н.Н., Старостенков М.Д., Захаров П.В., Сысоева М.О. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2022. 19, № 1, с. 17-24. Рус.

Посредством метода молекулярной динамики с использованием потенциала Морзе, рассматриваются условия возбуждения продольных упругих волн в различных направлениях и результаты их столкновений с N -краудинами в 3D компьютерной модели ГЦК решетки кристалла Ni. Известно, что любые возмущения в кристаллической решетке безграничного кристалла возбуждают лишь продольные волны. В тех случаях, когда модельная ячейка представляет собой вытянутый прямоугольный параллелепипед, продольная волна, распространяющаяся вдоль направления плотной упаковки атомов под углом к наиболее протяженной стороне ячейки, испытывает многократные отражения от стенок, в результате чего у этой волны появляется поперечная составляющая относительно наиболее протяженной грани модельной ячейки. Моделировалось встречное столкновение этой волны и обладающего сверхзвуковой скоростью N -краудина, включающего в себя два или три междоузельных атома. Скорости N -краудионов варьировались в диапазоне от $1,3 \cdot 10^4$ до $1,8 \cdot 10^4$ м/с. Во всех случаях после столкновения N -краудина с волной, имеющей поперечную составляющую, происходила перестройка N -краудина в краудинный комплекс, ориентированный вдоль направления движения продольной волны, испытывающей многократные отражения от стенок модельной ячейки.

25.01-01.91 Численное исследование свойств поверхностных акустических волн в $\text{YBa}_3(\text{PO}_4)_3$ кристалле. *Тазиев Р.М. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2022. 19, № 2, с. 172-178. Рус.

Новые пьезоэлектрические материалы всё более востребованы для использования в различного рода устройствах (датчиках и т.д.), работающих в широком диапазоне рабочих температур. Технология поверхностных акустических волн (ПАВ) позволяет проводить совместную обработку сигналов с многофункциональных сенсорных элементов датчиков. Новый кристалл $\text{YBa}_3(\text{PO}_4)_3$ имеет кубическую симметрию и обладает пьезоэлектрическими свойствами. В работе представлено численное исследование свойств поверхностной акустической волны (ПАВ) в кристалле $\text{YBa}_3(\text{PO}_4)_3$. Фазовая скорость ПАВ, коэффициент электромеханической связи и угол отклонения потока энергии волны исследуется для различных кристаллических срезов кубического кристалла $\text{YBa}_3(\text{PO}_4)_3$. Для Z-среза и

направления распространения волны вдоль оси $X+45^\circ$ показано, что ПАВ имеет максимальное значение коэффициента электромеханической связи (0,17%) в кристалле. Для $Z+45^\circ$ -среза и направления распространения волны вдоль оси X коэффициент электромеханической связи равен 0,1%. Оба эти среза кристалла представляют потенциальный интерес для ПАВ-устройств.

25.01-01.92 Оценка влияния точечных дефектов на фоновый спектр кристалла и возможность возбуждения нелинейных мод. *Луценко И.С., Маркидонов А.В., Захаров П.В., Старостенков М.Д. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2022. 19, № 4, с. 437-444. Рус.

Динамика решетки кристаллов определяется многими факторами, в том числе дефектами структуры и внешними условиями. В данной работе нами рассмотрено поведение плотности фоновых состояний кристалла при различной концентрации точечных дефектов и температурах. Рассмотрен кристалл стехиометрии Al_3V , на примере Pt_3Al , в котором возможно существование запрещенной зоны в фоновом спектре кристалла. Модель представляла собой расчетную ячейку, содержащую от 10^3 до 10^5 атомов. Частицы взаимодействовали посредством многочастичного потенциала, полученного методом погруженного атома. При этом накладывались периодические граничные условия, чтобы избежать краевых и поверхностных эффектов. Далее производилось удаление нужной доли атомов Al и/или Pt с последующей релаксацией модели не менее 20 пикосекунд и нагревом до необходимой температуры. Расчет спектров кристаллов производился непосредственно с данных, полученных при расчетах, т.е. рассчитывалась частота каждого атома и весь диапазон полученных значений разбивался на 100 интервалов для определения плотности их распределения. Такой подход менее точен теоретических расчетов, однако позволяет отслеживать динамику спектра, к тому же теоретический расчет сложных конфигураций решетки с дефектами крайне затруднителен. Тем самым в работе получены качественные результаты, позволяющие оценить изменение плотности фоновых состояний решетки при наличии точечных дефектов. Полученные зависимости свидетельствуют о том, что с ростом температуры и концентрации дефектов увеличивается вероятность возбуждения мод, частоты которых близки к собственным частотам дискретных бризеров в данном кристалле.

25.01-01.93 Формирование микро- и наноструктур при электровзрывном карбоборировании титановых сплавов по механизму гидродинамических неустойчивостей. *Невский С.А., Сарычев В.Д., Грановский А.Ю., Ващенко Л.П., Громов В.Е. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2023. 20, № 3, с. 317-328. Рус.

Проведено исследование формирования микро- и нанокристаллических поверхностных слоев сплавов при воздействии гетерогенных плазменных потоков по механизму возникновения и развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца на примере систем Ti-V и Ti-C-V. Особое внимание уделялось начальной стадии ее развития, когда возмущения границы раздела сред считались синусоидальными. Течение первой и второй среды считались вязко-потенциальными. Из дисперсионного уравнения возмущений границы раздела сред была получена зависимость скорости роста возмущений от волнового числа. Ее анализ показал, что в плоскости параметров (ϵ, m) существует восемь областей, в которых она может быть аппроксимирована приближенными зависимостями: α_{I-IV} , $\alpha_{I/-IV}$. Из данных зависимостей получены связи волнового числа, на которое приходится максимум скорости роста возмущений и характеристик материала, параметров внешнего воздействия. Показано, что в зависимости от поперечной скорости второго слоя, соотношения вязкостей и плотностей слоев относительные погрешности этих приближений составляют 1—12%. Максимумы скорости роста возмущений поверхности раздела сред делятся на два типа: гидродинамический и вязкостно-обусловленный. Гидродинамический максимум, который возникает вследствие взаимного скольжения слоев, существует во всех областях на плоскости параметров (ϵ, m) . Вязкостно-обусловленный максимум возникает в областях II и III при условии $m > 0,4767$, а также в II/ и III/ при $m < 0,4767$. В области I при условии гидродинамический и вязкостно-обусловленный максимум существуют одновременно

но. Полученные результаты были применены для процессов электровзрывного борирования и карбоборирования титана. Установлено, что на границе раздела титана и бора выполняется приближенная аналитическая зависимость с погрешностью 1%, а максимум имеет гидродинамическое происхождение. Это же приближение выполняется и в случае карбоборирования на границе раздела «плазма/расплав». Ключевые слова: дисперсионное уравнение, неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, коротковолновое приближение, титан, карбоборирование.

Параметрические антенны, рассеяние звука на звуке

См. 25.01-01.76

Акустические течения и радиационное давление

25.01-01.94 Исследование гидродинамических характеристик неподвижного пузыря Тейлора при различных скоростях опускного потока жидкости. *Кашинский О.Н., Алексеев М.В., Лукьянов А.А., Курдюмов А.С., Лобанов П.Д. Теплофиз. и аэромех.* 2024, № 3, с. 569-585. Рус.

Проведено комплексное экспериментально-расчетное исследование течения при обтекании неподвижного газового снаряда при скоростях опускного потока от 0,15 до 0,3 м/с в вертикальной трубе диаметром 20 мм. Выполнены трехмерные расчеты методом VOF (volume of fluid) в пакете OpenFOAM с применением нестационарной модели турбулентности $k-\omega$ SST. Экспериментальное исследование гидродинамических характеристик потока проведено с использованием электродиффузионного метода. Показано влияние скорости потока на изменение формы носика газового снаряда. В ходе работы выполнено сравнение

расчетных и экспериментальных данных и показано их хорошее соответствие. Изучено распределение скоростей в жидкости и газе, а также распределение толщины пленки жидкости вокруг газового снаряда. Показано, что трение на стенке в пленке жидкости вокруг газового снаряда не зависит от скорости нисходящего потока.

См. также 25.01-01.46

Нелинейная акустика многофазных, пористых, резиноподобных сред, полимеров

25.01-01.95 Об оценке пористости металлов, полученных методом горячего изостатического прессования, на основе анализа структурного акустического шума. *Хлыбов А.А., Углов А.Л. Акустический журнал.* 2024, 70, № 5, с. 680-691. Рус.

Рассматривается возможность использования неразрушающего спектрально-акустического метода количественного контроля пористости образцов из стали Х12МФ, полученных методом горячего изостатического прессования. Приведены результаты исследований образцов, полученных на различных этапах горячего изостатического прессования в диапазоне остаточной пористости от 0 до 9%. Методика контроля строится на основе анализа параметров акустического структурного шума. Проанализированы различные методики измерения параметров структурных шумов с точки зрения чувствительности и погрешности измерений используемых информативных параметров структурного шума. Предложены уточненные расчетные алгоритмы определения параметров структурных шумов, приведены результаты их экспериментальной проверки. Полученные результаты могут послужить основой для разработки инженерной методики оценки степени пористости материала деталей и конструктивных элементов, полученных методом горячего изостатического прессования, в условиях эксплуатации.

Физическая акустика

25.01-01.96 Волновая тяга локальных излучателей. *Арабаджи В.В. Акустический журнал.* 2024, 70, № 5S, с. 37. Рус.

Применительно к малогабаритным (локальным) излучателям с диаграммой направленности типа кардиоиды для звуковых волн, электромагнитных волн и поверхностных гравитационных волн в жидкости рассматривается эффект волновой тяги. Малогабаритность излучателей не принципиальна, но позволяет пренебречь рассеянием их полей друг на друге для упрощения аналитического рассмотрения задачи. Показано, что в направлении максимальной асимметрии (относительно центра диаграммы направленности плотности потока мощности излучения) возникает постоянная во времени сила, противоположная направлению максимума излучения. Элементами односторонне излучающих систем являются пульсирующие сферы (монополи) в акустике, элементы тока для электромагнитных волн, а также и поправки для гравитационных волн в жидкости, где экспериментально установлены зависимости силы волновой тяги и скорости реактивного течения от частоты и фазы и амплитуды возбуждения вертикальных колебаний поплавков при горизонтальной фиксации системы поплавков. Получена также и оценка скорости поступательного движения системы поплавков как целого под действием радиационной силы (или силы реакции горизонтального течения на поверхности, порожденного вертикальными колебаниями поплавков), когда нет фиксации по горизонтали. Если одностороннее безопорное излучение (на ненулевой частоте) представляет эффект первого порядка, то одностороннее безопорное постоянное давление (или волновая тяга на нулевой частоте) представляет квадратичный эффект по амплитуде волны.

25.01-01.97 Распространение звука в свободной струе. *Диденкулов И.Н., Мальцев В.В., Прончатова-Рубцов Н.В. Акустический журнал.* 2024, 70, № 5S, с. 37.

Рус.

Струи жидкости часто используются в различных технических системах. В последние годы развивается предложенная Лейтоном технология очистки загрязненных поверхностей с использованием озвученной струи с пузырьками. В настоящей работе приводятся результаты экспериментов по распространению звука в свободной струе жидкости, вытекающей из сосуда. Описываются также теоретические и экспериментальные результаты по распространению звука в коническом волноводе с мягкими стенками — модели струи.

25.01-01.98 Дифракция цилиндрических звуковых волн упругим цилиндром конечной длины с неоднородным покрытием. *Ефимов Д.Ю. Акустический журнал.* 2024, 70, № 5S, с. 38. Рус.

В настоящее время известно большое количество работ, посвященных дифракции звука на бесконечных идеальных и упругих цилиндрах. Очевидно, что рассеиватель, имеющий форму конечного кругового цилиндра, представляет значительный интерес как самостоятельный объект, так и в качестве эталонного тела. Дифракционные задачи для конечных цилиндрических тел изучены в гораздо меньшей степени. Изучение звукоотражающих свойств цилиндрических тел представляет как самостоятельный интерес, так и служит необходимой ступенью для создания покрытий с программируемыми звукоотражающими характеристиками объектов. Обеспечить требуемые звукоотражающие свойства тел можно с помощью непрерывно-неоднородных упругих покрытий, если подобрать соответствующие законы неоднородности для механических параметров покрытия. В настоящей работе получено аналитическое решение задачи дифракции цилиндрических звуковых волн, излучаемых бесконечно длинным линейным источником, на однородном изотропном упругом цилиндре конечной длины с покрытием в виде изотропной упругой оболочки с непрерывно изме-

нящимися по толщине физико-механическими характеристиками. Решение основано на использовании интегрального уравнения Гельмгольца—Кирхгофа, справедливого при распространении малых возмущений в рамках линеаризованной модели безвихревого течения идеальной сжимаемой жидкости. Волновые процессы в однородном упругом цилиндре и неоднородном упругом покрытии описываются уравнениями линейной теории упругости. Проведены численные расчеты частотных распределений амплитуды рассеянного акустического поля. Показано, что неоднородное покрытие позволяет эффективно изменять характеристики рассеяния цилиндрического тела.

25.01-01.99 О решении задачи дифракции звуковой волны на цилиндрической оболочке. *Косарев О.И., Пузакина А.К.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 38. Рус.

Проведен анализ наиболее известных решений задачи дифракции звуковых волн на телах произвольной формы, в частности, на цилиндре [1–4]. В ряде работ, в том числе канонических, выявлены неточности в решениях задачи дифракции, имеющие принципиальное значение. В работе [2] неточность связана с определением полного поля на измерительной поверхности, охватывающей тело, и гашение рассеянного поля. В работе [3] — с определением гасящей силы, приложенной к поверхности тела. В работе [4] — с отсутствием падающего поля на поверхности цилиндра в формуле Кирхгофа. Литература: 1. Шендеров Е.Л. Волновые задачи гидроакустики. Л.: Судостроение. 1972. 348 с. 2. Малюжинец Г.Д. Нестационарные задачи дифракции для волнового уравнения с финитной правой частью // Труды акустического института. 1971. Вып. 15. С. 124–139. 3. Бобровницкий Ю.И. Новое решение задачи об акустически прозрачном теле // Акуст. журн. 2004. Т. 50. № 6. С. 751–755. 4. Ильменков С.Л., Клещев А.А., Клименков А.С., Легуша Ф.Ф., Майоров В.С., Чижов В.Ю., Чижов Г.В. Метод функций Грина в задаче дифракции звука на телах неаналитической формы // XXVII сессия РАО, СПб., 2014. С. 1–8.

25.01-01.100 Осесимметричные волны в водоподобном цилиндре. *Миронов М.А., Пятаков П.А., Савицкий О.А., Шуляпов С.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 39. Рус.

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований распространения осесимметричных волн в твердом волноводе круглого сечения со свободной боковой поверхностью (так называемая задача Похгаммера—Кри), выполненном из водоподобной среды. Под водоподобной средой понимается среда, в которой скорость распространения сдвиговых волн существенно меньше скорости распространения продольных волн. Эквивалентным критерием водоподобности среды является близость значения ее коэффициента Пуассона к 0.5. Основной результат сообщения состоит в следующем. Дисперсионное уравнение, связывающее волновое число нормальной волны с частотой для водоподобной среды, мало отличается от дисперсионного уравнения для жидкой, невязкой среды. Соответственно, скорости распространения нормальных волн в водоподобном цилиндрическом волноводе, с большой степенью точности равны скоростям распространения нормальных волн в жидком цилиндре. Вычислена поправка к волновым числам собственных волн жидкого цилиндра, вызванная конечным модулем сдвига. Она стремится к нулю обратно пропорционально частоте. Этот результат радикально отличается от поведения волн в неводоподобных цилиндрах (коэффициент Пуассона меньше 0.4), где скорости распространения нормальных волн на высоких частотах равны, приблизительно, скорости рэлеевской волны на плоской границе. В сообщении анализируется структура поля смещений в нормальных волнах, относительный вклад потенциальной и сдвиговой компонент. Демонстрируются формы импульсов, экспериментально полученные в полиуретановом цилиндре.

25.01-01.101 Описание колебаний тонких пластин с помощью матричного уравнения Клейна—Гордона. *Шанин А.В., Князева К.С., Шелест Е.Л.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 39. Рус.

Мы строим матричное уравнение Клейна—Гордона для пластины, принимая при этом последовательно линейную, квадратичную и кубическую аппроксимации деформации сечения

пластины. Показывается, что с помощью линейного приближения не удается получить коэффициент жесткости, известный из теории тонких пластин. Причина невозможности интерполировать пластину линейной функцией связана с явлением shear locking. При такой интерполяции пластина эффективно оказывается более жесткой, чем она есть на самом деле. В свою очередь, квадратичное и кубическое приближения позволяют получить коэффициент, совпадающий с теоретическим.

25.01-01.102 Особенности построения модифицированного пропагатора для широкоугольной модели на основе операторного ряда Фурье. *Юлдашев П.В., Коннова Е.О., Карзова М.М., Хохлова В.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 40. Рус.

Исследование особенностей распространения акустических волн в неоднородных средах актуально для многих задач медицинского ультразвука, геофизики и аэроакустики. В численном моделировании подобных задач целесообразно использовать широкоугольное параболическое приближение. Стандартный способ построения трехмерной широкоугольной модели на основе аппроксимаций Паде однонаправленного пропагатора приводит к необходимости решения уравнений в частных производных с двумерным оператором Лапласа, действующим в плоскости, перпендикулярной основному направлению распространения волн. В этом случае пространственные переменные не разделяются, из-за чего приходится использовать громоздкие численные схемы. В качестве альтернативного подхода авторами данной работы ранее было предложено использовать разложение пропагатора в операторный ряд Фурье по поперечному лапласиану, в результате чего построение численных схем существенно упрощается. Для уменьшения амплитуды осцилляций Гиббса необходимо построение модифицированного пропагатора, который является приближенной версией точного пропагатора, сглаженной и периодизованной в заданном окне собственных значений оператора Лапласа. В работе на примере задачи о фокусировке ультразвукового пучка исследуются различные способы построения такого пропагатора. Используется метод двухточечной интерполяции Эрмита, позволяющий строить непрерывное продолжение функции и ее производных. Интерполяция применяется как к комплекснозначной функции пропагатора, так и к его амплитуде и фазе по отдельности. Проводится исследование ошибки аппроксимации пропагатора конечным рядом Фурье в зависимости от заданного углового диапазона широкоугольной модели, шага сетки вдоль оси фокусированного пучка, числа Фурье гармоник, ширины периода, в котором производится разложение, и положений точек шпикви интерполируемых функций.

25.01-01.103 Широугольная численная модель для описания дифрагирующих акустических пучков в неоднородных средах. *Коннова Е.О., Хохлова В.А., Юлдашев П.В.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 40. Рус.

Теоретическое описание распространения волн в неоднородных средах является важной частью многих задач волновой физики, например, в области неинвазивной ультразвуковой хирургии с использованием высокоинтенсивных ультразвуковых пучков. Из-за различных акустических свойств биологических тканей и органов тело человека является слабо неоднородной средой, что приводит к нежелательным искажениям поля при фокусировке пучков. В связи с этим возникает необходимость в теоретических и численных моделях, способных количественно точно описывать данные волновые явления. Одним из способов построения волновой модели в неоднородной среде является использование широкоугольного параболического приближения. В данной работе развивается метод разложения однонаправленного пропагатора в операторный ряд Фурье как альтернатива классическому методу дробных шагов Паде, в трехмерных формулировках которого возникают трудности вычислительного характера. В представленном методе вычисления сводятся к расчету действия набора простых экспоненциальных пропагаторов, аналогичных по форме пропагатору стандартного параболического уравнения, на известное поле давления. Ранее была показана работоспособность метода при расчете фокусировки ультразвукового пучка в однородной среде. В данной работе реализуются численные схемы с учетом наличия неоднородно-

стей скорости звука в среде, основанные как на методе конечных разностей, так и с использованием метода расщепления операторов с возможностью расчета пространственных производных в Фурье пространстве. Представлены тестовые расчеты фокусировки пучка в неоднородной среде и приводится сравнение с результатами, полученными в пакете "k-Wave".

25.01-01.104 Клиновые волны в билинейном клине. Безручко Д.К., Коробов А.И., Агафонов А.А., Одина Н.И. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 41. Рус.

Представлены результаты моделирования и экспериментальных исследований клиновых волн (КВ) в билинейном (двойном) клине. Образец представляет собой клин, одна из образующих поверхностей которого также является широкоугольным клином. Построены модели треугольного (40 и 60 градусов) и билинейного клина с такими же углами, образованными поверхностями клина. Проводится сравнение АЧХ клиновых волн во всех образцах, полученных методом конечных элементов. Выделены основные моды клиньев, измерены их скорости. Произведен анализ и сравнение областей локализации клиновых мод в образцах. Визуализация распространения КВ в образце билинейного клина выполняется методом сканирующей лазерной виброметрии. Проводится сравнение полученных результатов моделирования и эксперимента. Ключевые слова: клиновые волны, билинейный клин, моделирование, эксперимент.

25.01-01.105 Дисперсия в акустическом волноводе типа интерференционной антенна. Субботкин А.О., Шанин А.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 41. Рус.

Представлены результаты исследования дисперсии при распространении волн в цилиндрическом волноводе с боковыми отверстиями (расположенными равноудаленно друг от друга), а также анализируются направленные приемные свойства такого волновода. Дополнительно представлены рекомендации по оптимизации его направленных и амплитудно-частотных характеристик. Ключевые слова: интерференционный волновод, цилиндрический волновод с боковыми отверстиями, дисперсия в волноводе с боковыми отверстиями, приемные свойства волновода с боковыми отверстиями, остронаправленный микрофон интерференционного типа.

25.01-01.106 Рассеяние фундаментальных нормальных мод на локализованных изменениях толщины в многослойных изотропных волноводах. Евдокимов А.А., Варелдэсан М.В., Еремич А.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 41. Рус.

Обсуждаются результаты компьютерного моделирования рассеяния фундаментальных бегущих упругих волн на единичном локализованном изменении толщины (модель точечной коррозии) в двухслойных алюминий-стальных материалах, широко используемых в автомобильной промышленности и в строительстве. Реализованная вычислительная схема является обобщением на случай многослойного изотропного волновода подхода, сочетающего конечно-элементные расчеты для ограниченной области, содержащей дефект, с последующей постобработкой результатов на основе соотношений обобщенной ортогональности для нормальных мод, позволяющей выделить вклад каждой нормальной моды в рассеянное дефектом волновое поле (L. Moreau, M. Castaings, Ultrasonics 48 (2008) 357-366). На ее основе исследуется влияние типа набегающей волны, геометрических характеристик дефекта и толщины каждого из слоев на особенности взаимодействия бегущих волн с дефектами рассматриваемого типа. Показано, что для глубоких дефектов с плоским дном вблизи их резонансных частот (почти вещественных комплексных спектральных точек краевой задачи для открытого волновода с препятствием) (E. Glushkov, et al., J. Sound Vib. 358 (2015) 142-151) наблюдаются значительные изменения в направленности рассеянного волнового поля, определяемые видом соответствующих собственных форм колебаний. Указанный эффект может быть использован, например, для уточнения результатов оценки геометрических характеристик повреждений с использованием распределенной сети пьезодатчиков в рамках ультразвуковой системы мониторинга состояния конструкций, использующей бегущие упругие волны

в качестве физической основы.

25.01-01.107 Экспериментальное и численное исследование акустической радиационной силы, действующей на цилиндрический рассеиватель в воде в поле фокусированного ультразвукового пучка. Котельникова Л.М., Цысарь С.А., Сапожников О.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 61. Рус.

Экспериментально и численно исследована акустическая радиационная сила акустического пучка мегагерцового диапазона частот, действующая на рассеиватели из стали в форме цилиндров различных диаметров (5–7 мм) и высот (3–9 мм) в воде. Экспериментальные измерения проводились на предложенной ранее авторами экспериментальной установке для измерения радиационной силы методом взвешивания. Цилиндр крепился с помощью системы натянутых тонких лесок в центре жесткого кольца большого диаметра. Кольцо посредством конструкции из жестких трубок, не касающихся стенок бассейна, опиралось на электронные весы (точность весов 4 мг). Ультразвуковой пучок генерировался пьезокерамическим излучателем в виде сферической чаши с фокусным расстоянием 70 мм и апертурой 100 мм на частоте 1.072 МГц. Излучатель был закреплен на системе позиционирования, которая позволяла перемещать его с шагом 2.5 мкм вдоль трех взаимно перпендикулярных осей. Ось излучателя была направлена вертикально вниз. Цилиндр располагался в поле излучателя так, чтобы его ось совпадала с направлением акустической оси излучателя. Численный расчет акустической радиационной силы, действующей на аксиально-симметричные объекты со стороны аксиально-симметричного пучка, проводился методом конечных разностей. Экспериментальные и численные результаты были использованы для исследования тенденций влияния на силу линейных размеров образца (высоты и диаметра цилиндра).

25.01-01.108 Роль сдвиговых волн при фокусировке ультразвукового пучка через расположенный в жидкости твердотельный слой. Асфандияров Ш.А., Сапожников О.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 61-62. Рус.

Исследована роль сдвиговых волн при фокусировке акустических волн сквозь твердотельный слой. Рассмотрена модельная задача, в которой фокусированная волна, распространяющаяся в жидкости, проходит через однородный плоскопараллельный упругий слой. Для описания падающего акустического пучка использовано точное решение уравнения Гельмгольца в виде фокусированного пучка [Сапожников О.А. Точное решение уравнения Гельмгольца для квазигансовского пучка в виде суперпозиции двух источников и стоков с комплексными координатами. Акуст. ж., 2012, т. 58, № 1, с. 49-56]. Использован метод углового спектра, который позволил для каждой компоненты пространственного спектра использовать классическое точное решение для коэффициента прохождения волны, наклонно падающей на плоскопараллельный упругий слой. Показано, что при малых углах фокусировки процесс прохождения обусловлен в основном продольными волнами. Однако с ростом угла схождения фокусированного пучка сдвиговые волны в слое начинают играть заметную роль и рожденные ими волны в жидкости создают дополнительный фокус, амплитуда в котором может превысить амплитуду в первичном фокусе. Фокальная перетяжка вокруг вторичного фокуса заметно уже перетяжки вокруг первичного фокуса. Особенности преломления и переотражения волн в слое также исследованы с помощью численного моделирования процесса фокусировки ультразвуковых импульсов методом конечных разностей на основе уравнений теории упругости неоднородной среды в условиях аксиальной симметрии. Проведенный анализ имеет отношение к разрабатываемым в настоящее время методам ультразвукового зондирования тканей мозга человека через интактный череп.

25.01-01.109 Акустическая диагностика газовых пузырьков и эффективные параметры жидкости с пузырьками. Буланов В.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 62. Рус.

Избирательное рассеяние звука, связанное с резонансными свойствами пузырьков, обычно используют для определения спектра их размеров в жидкости. Однако, практика показыва-

ет, что результаты не всегда соответствуют реальным распределениям пузырьков по размерам. Это связано с влиянием нерезонансного фона рассеяния, который в обычных схемах акустической спектроскопии практически не учитывается. Решение задач диагностики пузырьков частично связано с учетом нестационарного и нелинейного рассеяния звука. Представлены результаты анализа влияния различных типов функции распределения пузырьков по размерам на величины коэффициентов стационарного и нестационарного рассеяния и поглощения звука. Показано, что применение нестационарного рассеяния звука позволит во всех случаях проводить спектроскопию газовых пузырьков в жидкости. Дополнительно проведены исследования эффективных параметров жидкости с пузырьками (сжимаемости, коэффициента поглощения и скорости звука) в рамках гомогенной модели микронеоднородной пузырьковой жидкости и их сравнение с моделью диссипативных и дисперсионных характеристик в рамках самосогласованного поля. Показано, что при небольших концентрациях и монотонных функциях распределения пузырьков по размерам полученные результаты по обоим моделям согласуются между собой.

25.01-01.110 Экспериментальное исследование влияния звуковых колебаний на характеристики полидисперсных пузырьков в воде. *Зарипов Ф.А., Павлов Г.И., Галеева Л.Х. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 62. Рус.

Исследовались характеристики газовых пузырьков разного диаметра формирующихся в вертикальной трубе закрытой с одного конца поршнем. Звуковые колебания в смеси газа и жидкости создаются колебаниями поршня. Полидисперсные пузырьки образуются на выходе из пористого керамического распылителя при подаче в него газовой фазы. Расход газа оставался постоянным. Экспериментально методом фотосъемки фиксировалось поведение всплывающих пузырьков в условиях покоящейся жидкости и бегущих звуковых волн. Фотографии обрабатывались в программном пакете Image Pro Plus. Замечено, что звуковые колебания оказывают существенное влияние на дисперсный состав пузырьков.

25.01-01.111 Современные методы анализа содержания растворенного кислорода в воде. *Павлов Г.И., Кожарин Н.Ю. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 62-63. Рус.

Централизованные системы теплоснабжения действуют в России более 80 лет. Основная причина повреждений тепловых сетей — коррозионные разрушения металла труб. В среднем по России 28% всех повреждений тепловых сетей обусловлены внутренней коррозией под воздействием кислорода. Используемые методы определения концентрации растворенного кислорода в воде можно разделить на несколько групп: химические, оптические и электрохимические. Однако, на сегодняшний день имеет место неопределенность в выборе достоверного метода контроля содержания растворенного кислорода в воде из-за различия результатов. В работе дано краткое представление о природе коррозионного воздействия, различных методах анализа и контроля содержания растворенного кислорода в воде, их преимуществах и недостатках, а также опыт их применения в организациях топливно-энергетической отрасли. Предложены рассуждения о перспективах применения альтернативных методов непрерывного мониторинга на базе оценки концентрации пузырьков воздуха в отбираемой жидкости при распространении в ней звуковых колебаний.

25.01-01.112 Экспериментальные исследования акустических параметров полиуретана. *Миронов М.А., Пятаков П.А., Савицкий О.А., Шуляков С.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 63. Рус.

Приведены методика и результаты измерений скоростей распространения и затухания продольных и сдвиговых волн в полиуретане в широком диапазоне частот, температур и давлений. Используя известные теоретические представления, предложены аналитические зависимости, позволяющие с хорошей точностью описать температурные зависимости скорости распространения и затухания волн.

25.01-01.113 Предварительное моделирование распространения звука в жидкой среде с примесями. *Дам-*

динов Б.Б., Пригожих В.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 63. Рус.

Представлена визуализация известной и важной в практических приложениях задачи распространения звука в жидкой среде с пузырьками. Исследование модели проводилось методами численного моделирования с использованием программного продукта Comsol Multiphysics. Численное моделирование акустических процессов является точным способом решения сложных задач акустики несмотря на то, что представляет собой достаточно ресурсоемкий процесс, требующий больших затрат вычислительного времени. Наличие пузырьков газа в жидкости существенно меняет ее акустические свойства. Теоретическому исследованию распространения гармонических возмущений в подобных жидкостно-газовых смесях посвящено значительное количество работ. В работе нами были проведены исследования распространения звука в водной среде с включениями сферических пузырьков воздуха. В результате была получена визуализация распределения акустического и звукового давления в водной среде и на поверхностях при разных частотах звука. Программный пакет производил расчеты на основе уравнения Гельмгольца. Использование программного обеспечения COMSOL Multiphysics обеспечивает удобное наглядное представление результатов исследования распространения звука в водных средах. Физические и геометрические параметры могут варьироваться в широких пределах. В дальнейшем полученные результаты по распространению звуковых волн в модельной водной среде с пузырьками будут использованы в планируемой серии исследований по распространению звука в среде, содержащей сферические наночастицы различной природы. Планируется также провести исследования нелинейных процессов в жидкостях при интенсивном акустическом воздействии на ультра- и гиперзвуковых частотах.

25.01-01.114 Распределение энергии поверхностного источника в упругом анизотропном полупространстве: асимптотика, диаграммы направленности, линии тока. *Глушкова Е.В., Глушкова Н.В. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 64. Рус.

Осредненный за период колебаний поток волновой энергии, поступающей от поверхностного источника (заданной гармонической нагрузки) в упругую среду, распределяется между возбуждаемыми бегущими и объемными волнами. Для случая изотропного материала ранее были выведены явные интегральные и асимптотические представления для возбуждаемых волн через элементы матрицы Грина рассматриваемой подложки и параметры источника. В случае анизотропных слоистых сред реализация такого подхода усложняется. Тем не менее, на основе разработанных полуаналитических алгоритмов построения Фурье-символа матрицы Грина для произвольно-анизотропных материалов также получены интегральные и асимптотические представления волновых полей. На этой основе проводится анализ влияния анизотропии на формирование волновых полей, распределение энергии источника, диаграммы направленности и структуру энергетических потоков. Последние визуализируются линиями тока энергии касательными к векторам Умова—Пойнтинга. Обсуждаются особенности вывода и компьютерной реализации полученных представлений, проиллюстрировав их численными примерами для материалов с различными видами анизотропии. Планируется также уделить внимание эффекту появления нескольких фронтов объемных или поверхностных волн, соответствующих одному корню характеристического уравнения, но распространяющихся с различными скоростями.

25.01-01.115 Исследование собственных форм и частот при динамическом изгибе стержня с переменными параметрами методом Пеано. *Захаров Д.Д., Никитин И.С., Никитин А.Д. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 64. Рус.

Рассчитываются собственные частоты и формы поперечных колебаний тонкого стержня с параметрами, зависящими от продольной координаты. Методом Пеано решается уравнение Бернулли—Эйлера с переменными коэффициентами жесткости и инерции при различных типах краевых условий на концах стержня. Исследуется сходимость решения, приводится оценка погрешности. Выведены дисперсионные уравнения, показа-

на эффективность метода. Приведено сравнение с результатами, полученными ВКБ методом. Изложенные подходы могут использоваться как для расчета тонких стержней переменного сечения и различной формы, так и для случая функционально-градиентных материалов, когда модуль Юнга и плотность материала зависят от продольной координаты. Численные примеры даны в контексте практической оценки остаточной прочности образцов для экспериментального исследования усталости металлических сплавов при высокочастотных циклических испытаниях, основанных на общем принципе точечного резонансного нагружения.

25.01-01.116 Акустическое исследование реологических свойств полиметилсилоксановых жидкостей. *Машанов А.Н., Дембелова Т.С., Бадмаев Б.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 64-65. Рус.*

Проведено исследование реологических свойств гомологического ряда полиметилсилоксановых жидкостей (ПМС) акустическим резонансным методом с применением пьезокварцевого резонатора. Метод основан на изучении влияния сил добавочной связи на резонансные характеристики колебательной системы. Пьезокварц, закрепленный в точках на узловой линии, колеблется на основной резонансной частоте, совершая тангенциальные смещения. Жидкость наносится на один конец горизонтальной поверхности и накрывается твердой накладкой из плавленого кварца, подвергаясь деформациям сдвига. В работе экспериментально определены комплексный модуль сдвиговой упругости, эффективная вязкость и тангенс угла механических потерь при частоте сдвиговых колебаний 73 кГц, рассчитана частота релаксации наблюдаемого вязкоупругого процесса в жидкостях. Проведено исследование модуля сдвига ПМС от величины сдвиговой деформации.

25.01-01.117 Акустическая индикация фазового перехода в ионных жидкостях с имидазольными и пиридиновыми основаниями. *Мелентьев В.В., Беленьков Р.Н., Сычев А.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 65. Рус.*

Рассмотрены новые экспериментальные данные по скорости прохождения ультразвуковых волн в ионных жидкостях с имидазольными и пиридиновыми основаниями. Скорость ультразвука была исследована в однофазной области на частоте 3.3 МГц в интервале давлений от 0.1 МПа до 196 МПа и в диапазоне температур от 293—373 К. В статье рассмотрены особенности поведения скорости распространения ультразвуковых волн вблизи точек замерзания ионных жидкостей.

25.01-01.118 Исследование дебаевской диэлектрической релаксации в адсорбированной воде акустозлектрическим методом. *Симаков И.Г., Гулагенов Ч.Ж., Базарова С.Б., Артемьева К.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 65. Рус.*

Используя изотермы изменения скорости поверхностных акустических волн (ПАВ) в процессе полимолекулярной адсорбции, определены действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости адсорбированной воды. Адсорбция водяного пара осуществлялась на оптически полированную поверхность адсорбента — звукопровода, который представляет собой пластину пьезокристалла ниобата лития YZ-срезы. В качестве инструмента исследования применялись поверхностные акустические волны рэлеевского типа в диапазоне частот 20—400 МГц, которые возбуждались и регистрировались встречно-штыревыми ПАВ-преобразователями. Изучены частотные зависимости действительной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости адсорбированной воды. Для разных значений толщины адсорбционного слоя в исследуемом диапазоне частот обнаружено наличие процесса диэлектрической релаксации, который хорошо интерпретируется теорией Дебая с одним временем релаксации. Время диэлектрической релаксации адсорбированной воды зависит от толщины адсорбционного слоя и существенно (на 2—3 порядка) превышает время релаксации воды в объемной жидкой фазе.

25.01-01.119 Бесконтактное определение параметров и механизмов проводимости низкоразмерных полупроводниковых структур акустическими методами. *Смирнов И.Ю., Дричко И.Л. Акустический журнал. 2024.*

70, № 5S, с. 65-66. Рус.

Низкоразмерные системы зачастую имеют сложное многослойное строение, поэтому их изучение традиционными методами на постоянном токе осложняется необходимостью создания высококачественных оригинальную процедуру определения абсолютных величин параметров наноструктур (двумерных электронных/дырочных систем GaAs/AlGaAs, Si/SiGe, Ge/SiGe, InGaAs/InAlAs/GaAs, графена и массивов квантовых точек) с использованием бесконтактного акустического метода, а точнее его гибридного варианта, позволяющего проводить измерения и в непьезоэлектрических материалах. Суть метода заключается в использовании поверхностных акустических волн (ПАВ), генерируемых на поверхности пьезоэлектрического кристалла (LiNb₃) с помощью встречно-штыревых преобразователей. Распространение ПАВ по поверхности кристалла, сопровождается переменным электрическим полем, проникающим в исследуемый образец, размещаемый на поверхности LiNbO₃. Взаимодействие этого поля с носителями заряда в образце приводит к появлению токов и выделению джоулева тепла, и, соответственно, поглощению (Γ) и изменению скорости ($\Delta v/v$) ПАВ. Из одновременных измерений Γ и $\Delta v/v$ при температурах $T=1.5-4.2$ К в магнитном поле $B=0-8$ Тл, мы определяем высокочастотную проводимость $\sigma^{AC}=\sigma_1-i\sigma_2$, ее зависимость от интенсивности ПАВ (W), T , B . Анализ экспериментальных зависимостей $\sigma_1(W, B, T)$ дает возможность определить параметры наноструктуры: концентрацию носителей тока, их подвижность, транспортное и квантовое времена релаксации, время релаксации энергии, величину деформационного потенциала и другие характеристики. Определение же соотношения между σ_1 и σ_2 , а также их зависимости от частоты ПАВ позволяет идентифицировать механизмы проводимости.

25.01-01.120 Обратные акустические волны в структурах, содержащих пьезоэлектрические пленки и пластины, характеризующиеся сильной анизотропией. *Дацик Е.Р., Кузнецова И.Е., Смирнов А.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 66. Рус.*

Проведено теоретическое исследование распространения обратных акустических волн в пластинах, характеризующихся сильной анизотропией. Построены дисперсионные зависимости акустических волн различных типов и порядков для различных кристаллографических ориентаций в пластинах из таких материалов как теллур, титанат бария, йодат лития, парателлурит. Обнаружено, что в парателлурите, теллуре и йодате лития присутствуют ветви, соответствующие обратным волнам. Показано, что частотная область существования обратных волн в пластинах исследуемых кристаллов, несмотря на их сильную анизотропию, достаточно мала, что может быть связано с небольшой пьезоактивностью указанных материалов. В связи с этим проведены теоретические расчеты влияния тонких слоев из сильных пьезоэлектриков на обнаруженные обратные волны. На примере слоистых структур с подложкой из теллура и пленками ниобата лития и ниобата калия была показана возможность увеличения ширины частотного диапазона существования обратной акустической волны при увеличении толщины пленки. Также были рассчитаны зависимости температурных коэффициентов скорости и задержки указанных волн от нормированной толщины пластины. Обнаружено, что этот параметр на порядок выше для обратных волн, в отличие от прямых волн в пьезоэлектрических пластинах. Данный факт представляет интерес для разработки высокочувствительных температурных датчиков.

25.01-01.121 Расчетно-экспериментальные исследования взаимодействия пульсирующих газовых потоков с дискретными механическими частицами. *Зайнутдинова Д.А., Горбунова О.А., Теллишов Д.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 66-67. Рус.*

Пульсациями потоков возможно интенсифицировать явления тепло- и массопереноса, например, для сушки, экстракции или химических реакций. Несмотря на это, промышленная реализация таких технологий все еще ограничена. В частности, это связано с недостаточным пониманием влияния основных факторов (амплитуды и частоты) на механизмы ускорения тепло- и массопереноса и результирующую динамику частиц. Пульсация порождает колебания скорости, давления и температуры, ин-

тенсифицируя тепломассоперенос до пяти раз по сравнению со стационарным потоком газа. Исследователи отмечают усиление тепломассообмена с увеличением амплитуды пульсаций, тем самым называя ее наиболее влияющим фактором, и уменьшением размера частиц. Разработана математическая модель взаимодействия пульсирующего газового потока с дискретными механическими частицами, адекватность ее проверена экспериментально на лабораторном стенде.

25.01-01.122 Температурные зависимости скоростей акустических волн в монокристаллах $YAl_3(VO_3)_4$. Турчин П.П., Турчин В.И., Бурков С.И., Чулкова М.Ю., Одинцов М.Б. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 67. Рус.

Эхо-импульсным ультразвуковым методом исследованы температурные зависимости скоростей объемных акустических волн в монокристаллах иттриевого алюмобората $YAl_3(VO_3)_4$ немагнитного представителя семейства тригональных редкоземельных оксидов $RMe_3(VO_3)_4$ (где $R=Y, La-Lu$; $M=Fe, Al, Cr, Ga, Sc$). Для отдельных акустических мод получены положительные значения температурных коэффициентов скорости.

25.01-01.123 Исследование характеристик чувствительности цилиндрического пьезопреобразователя с учетом акустического оформления. Максимов Г.А., Савицкий О.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 67. Рус.

Рассмотрена модель работы пьезоэлектрического приемника звукового давления. Представлены результаты исследования влияния геометрических и механических параметров конструктива цилиндрического пьезопреобразователя на частотные характеристики чувствительности для различных вариантов примененных активных материалов, включая пьезополимеры и пьезокомпозиты. Показано определяющее влияние механических свойств материала подложки активного элемента на чувствительность пьезопреобразователя.

25.01-01.124 Влияние ультразвука на лазерный пробой и оптическую эмиссию в жидкости. Буланов А.В. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 67-68. Рус.

Оптический пробой в жидкости, генерируемый сфокусированным лазерным импульсом, всегда сопровождается оптической эмиссией и генерацией интенсивного импульса звука из зоны пробоя. Особенности пробоя лазерным излучением в толще жидкости имеет важное значение для оптической спектроскопии элементов в жидкости. В жидкостях обычно применяется пробой на поверхности жидкостей, при этом в качестве помехи для спектроскопии растворенных элементов выступают линии атмосферных газов. Работа посвящена исследованию акустической и оптической эмиссии, сопровождающих оптический пробой в жидкости, генерируемых сфокусированным лазерным излучением в жидкости. Выявлено усиление интенсивности свечиваемых спектральных линий химических элементов при лазерном пробое в присутствии ультразвука. Установлена связь между порогами оптического пробоя и порогами ультразвуковой кавитации в реальной жидкости, которая связана с присутствием в жидкости докритических наноразмерных зародышей.

25.01-01.125 Эффективность спин-фононной связи в условиях насыщения сигнала ЯМР. Рочев А.М., Мижусев В.М., Чарная Е.В., Нефёдов Д.Ю., Заговорич А.Д. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 68. Рус.

Эффективность взаимодействия тепловых фононов с ядерными спинами определяет скорость спин-решеточной релаксации ядер. Представлены результаты по снижению эффективности спин-фононной связи через подавление вклада парамагнитных центров в релаксацию квадрупольных ядер. Для достижения подавления использовалось стационарное магнитное поле на ларморовской частоте. Показано, что в области отрицательной средней спиновой температуры скорость спин-решеточной релаксации для ядер ^{23}Na в кристалле фторида натрия при магнитном насыщении сигнала ЯМР не меняется. Существенное замедление релаксации спинов ^{23}Na зафиксировано в области положительной средней спиновой температуры, при этом восстановление ядерной намагниченности со временем после возмущения описывается суммой двух экспонент. Выявлено неполное подавление релаксации с участием индуцированных облу-

чением центров окраски. Полученные результаты могут быть использованы для исследования в реальных кристаллах парамагнитных центров малых концентраций с применением стандартных методик промышленных спектрометров ядерного магнитного резонанса.

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

25.01-01.126 Экспериментальное исследование эволюции газовых пузырьков в жидком металле. Прибатурин Н.А., Лобанов П.Д., Светоносов А.И., Курдюмов А.С., Чинак А.В., Волков С.М. *Теплофиз. и аэромех.* 2024, № 3, с. 531-539. Рус.

Приводятся результаты экспериментальных исследований структуры двухфазной среды «жидкий металл—газ» в вертикальных каналах в зависимости от расхода газовой фазы и диаметра канала. В качестве жидкой среды использовался свинцово-висмутовый расплав, находящийся при температуре $160^\circ C$, в качестве газовой фазы — аргон. Получены данные по форме газовых пузырьков, временному изменению газосодержания в каналах, гистограммам распределения газосодержания, особенностям снарядного течения газовой фазы в расплаве металла.

25.01-01.127 Расширение звукового потока вязкого теплопроводящего газа у края цилиндра. Богданова Е.В. *Учен. зап. ЦАГИ*. 1979. 10, № 4, с. 127-130. Рус.

Рассматривается асимптотическое поведение расширяющегося у края цилиндра течения вязкого теплопроводящего газа со звуковой скоростью на бесконечности. Построено течение, приближающееся к коническому в нижней части потока. Показано, что соответствующее решение представляет собой неравномерный предел последовательности функций, задающих параметры вспомогательных течений вокруг конфигураций, состоящих из цилиндра и расположенных за ним на положительной полуоси x стокв заданной интенсивности.

25.01-01.128 Управление состоянием ламинарного пограничного слоя при акустическом облучении. Белов И.А., Литвинов В.М., Свищев Г.П. *Учен. зап. ЦАГИ*. 1993. 24, № 2, с. 21-31. Рус.

Приведены результаты экспериментального исследования влияния акустических возмущений на процесс генерации и развития в пограничном слое неустойчивых колебаний — волн Толмина—Шлихтинга. Исследован нетрадиционный способ управления амплитудой этих колебаний с помощью локального изменения геометрии обтекаемой поверхности. Показано, что отрицательное воздействие звука на пульсационные характеристики течения может быть значительно снижено путем установки на поверхности двумерной локальной неровности малой высоты. Испытания проведены на модели плоской пластины в диапазоне чисел Рейнольдса $(0.7-2.1) \cdot 10^6$.

25.01-01.129 Волны в тяжелом стратифицированном газе: подзадачи для акустических и для внутренних гравитационных волн. Кшевещкий С.П., Курдяева Ю.А., Гаврилов Н.М. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 6, с. 891-906. Рус.

Рассматриваются двумерные линеаризованные гидродинамические уравнения, описывающие распространение волн в стратифицированном тяжелом газе. Система гидродинамических уравнений переформулирована как одно операторное уравнение типа Шредингера. Рассматриваются волны, у которых $\beta = L_z/L_x \ll 1$, где L_z и L_x — характерные вертикальный и горизонтальный масштабы, L_x соответственно, и изучается асимптотика решений при $\beta \rightarrow 0$. Показано, что множество решений по зависимости от β образует два непересекающихся класса. Для решений из каждого из выделенных классов предложена своя, асимптотическая при $\beta \rightarrow 0$, приближенная система уравнений. Выделенные классы решений — это акустические и внутренние гравитационные волны. Показано, что у акустических и гравитационных волн гидродинамические переменные связаны некоторыми стационарными соотношениями, различными для каждого класса. Это позволяет поставить задачу о выделении вкладов акустических и гравитационных волн в начальном

условии. Показано существование решения этой задачи о разделении волн. Приведены примеры решения задачи о разделении общей задачи на подзадачи о распространении акустических и гравитационных волн. Получены оценки разделения энергии начального возмущения по типам волн.

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

25.01-01.130 История и актуальные проблемы выращивания монокристаллов парателлурита в лаборатории кристаллизации Тверского государственного университета. *Вайсбург Н.Я., Иванов А.М., Каплунов И.А., Третьяков С.А. Физические основы приборостроения.* 2023. 12, № 2, с. 25-31. Рус.

Представлена история создания лаборатории кристаллизации в Тверском государственном университете и выращивания в ней монокристаллов парателлурита. Описано развитие технологии роста, решенные проблемы и современные задачи.

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

25.01-01.131 Амплитудные характеристики волн рэлеевского типа в горизонтально-неоднородных слоистых средах. *Жостяков Р.А., Жарков Д.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 6, с. 907-920. Рус.

Аналитически и численно рассмотрено распространение поверхностной акустической волны (ПАВ) рэлеевского типа вдоль свободной границы слоистого полупространства с плавным изменением его упругих параметров по горизонтали. Рассчитано изменение амплитуды ПАВ для перехода волны из однослойной системы в однослойную, однослойной в двухслойную и двухслойной в двухслойную в зависимости от упругих параметров, а также длины зондирующей волны. Показано, что амплитуда ПАВ уменьшается при увеличении скорости продольных волн и плотности среды по мере ее распространения, а при увеличении скорости поперечных волн в среде амплитуда ПАВ может как увеличиваться, так и уменьшаться. Изменение амплитуды ПАВ, связанное с изменением скорости продольных волн, сильнее, поэтому этот параметр следует учитывать в прикладных методах. Показано, что величина доминантной длины волны зависит как от геометрических, так и упругих параметров системы.

См. также **25.01-01.33**, **25.01-01.128**

Акустическая кавитация, сонолюминесценция

25.01-01.132 Статистическое усреднение размеров кавитационных пузырей в узлах прямооточных регулирующих клапанов. *Капринова А.Б., Лебедев А.Е., Гуданов И.С., Мельцер А.М., Скурыгин Е.Ф. Южно-Сибирский научный вестник.* 2024, № 5(57), с. 19-27. Рус.

Сравнение предлагаемых конструктивных особенностей по достижению эффективных значений основных показателей работы клапанов целесообразно выполнить с позиций анализа интенсивности появления кавитационных пузырей, оценки их статистически усредненных размеров до начала развитой стадии гидродинамической кавитации. Снижение числа пузырей в области течения рабочей жидкости, их ускоренный отвод от внутренних поверхностей клапана к выходному сечению потока среды за счет процесса его дросселирования различными способами обеспечивают рациональные значения пропускных характеристик регулирующих устройств. На базе энергетического метода с помощью моделей, ранее предложенных авторами, для гидродинамической кавитации в узлах сепаратор — затвор выполнены: выбор значимых параметров процесса дросселирования; расчет искомых усредненных по ансамблю диаметров пузырей при повороте перфорированного затвора в заданном интервале изменения пропускной способности прямооточного клапана с максимальным значением диаметра условного

прохода $2,59 \cdot 10^{-2}$ м; сравнительный анализ данных результатов статистического усреднения с известными авторскими при поступательном движении глухого затвора с ограничением на значение диаметра условного проходного сечения до $3,13 \cdot 10^{-2}$ м. Установлено, что в этих условиях наблюдается: сокращение указанных диаметров в 6,8 раза и в 8 раз соответственно для перфорированного и глухого затворов при переходе от значения степени открытия 0,2 до 1,0; практическое выравнивание максимальных значений усредненных по ансамблю диаметров пузырей до значения $2,50 \cdot 10^{-3}$ м в каждом из видов узлов.

25.01-01.133 Особенности лазероиндуцированной термокавитации воды. *Юсупов В.И. Акустический журнал.* 2024. 70, № 6, с. 828-837. Рус.

Исследованы особенности термокавитации воды вблизи торца волокна при ее нагреве непрерывным лазерным излучением с длиной волны 1.94 мкм. Динамические процессы изучались оптическими и акустическими методами. Установлено, что импульсы давления на начальном участке термокавитации, связанные с взрывным вскипанием воды, являются значительно меньшими по сравнению с импульсами давления при схлопывании образующихся парогазовых пузырьков. Спектр генерируемого акустического сигнала простирается выше 10 МГц, при этом спектральные распределения наиболее низкочастотных и наиболее высокочастотных флуктуаций описываются законом $1/f$. Показано, что пиковые мощности импульсов давления в отдельных актах термокавитации связаны с частотами их повторяемости зависимостью $\sim 1/f^{1.4}$. Вейвлет анализ показал, что при термокавитации наблюдается чередование “случайных” и “каскадных” процессов. В специальном акустическом эксперименте было установлено, что на начальном этапе термокавитации рост давления происходит примерно в течение 250 нс. Относительно длительный рост давления объясняется тем, что взрывное вскипание происходит во многих точках объема перегретой жидкости, а цепная реакция последовательного появления критических зародышей связана с распространением ударных волн.

См. также **25.01-01.74**

Ультразвуковая релаксация в газах, жидкостях и твердых телах

25.01-01.134 Особенности разделения механизмов спин-фононного взаимодействия для ^{23}Na в кристалле NaF в зависимости от температуры и количества парамагнитных центров. *Рочев А.М., Микушев В.М., Чарная Е.В., Серов А.Ю. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5, с. 672-679. Рус.

Исследована возможность изменения эффективности ядерной спин-фононной связи методами ЯМР на примере кристалла NaF в широком температурном диапазоне. Для подавления ядерной спин-решеточной релаксации, идущей с участием парамагнитных центров, использовано вместо акустического насыщения сигнала ЯМР ^{23}Na на удвоенной ларморовской частоте стационарное магнитное насыщение на одинарной частоте. Изучено влияние образующихся в результате гамма-облучения центров окраски и температуры на разделение механизмов спин-фононной связи. Не наблюдалось подавление примесной релаксации для дипольных ядер ^{19}F . Показано, что предложенная методика магнитного насыщения для полного или частичного отключения примесной релаксации квадрупольных ядер может быть реализована на промышленных импульсных спектрометрах ЯМР.

Фононы в кристаллической решетке, квантовая акустика

См. **25.01-01.92**, **25.01-01.134**

Плазменная акустика

25.01-01.135 Влияние ионно-звуковых солитонов на функции распределения по энергиям для холодных ионов в двухкомпонентной плазме. *Трущачев Ф.М., Ва-*

Сильев М.М., Петров О.Ф., Могилевский М.М., Чугунин Д.В. *Теплофизика высоких температур.* 2024. 62, № 5, с. 661-671. Рус.

В рамках одномерной двухкомпонентной МГД-модели плазмы с горячими электронами и холодными ионами получено аналитическое выражение, описывающее функции распределения ионов по энергиям, возмущенные ионно-звуковыми солитонами. В расчетах использовалось как усреднение по ансамблю ионов, так и усреднение по времени для одного иона. Показано, что ионнозвуковые солитоны сильно влияют на функцию распределения ионов, отклоняя ее от начального равновесного состояния. При этом после прохождения солитона функция распределения возвращается в первоначальное состояние. С использованием уравнения Кортевега—де Вриза получена явная формула для описания возмущенной функции распределения, которую можно применять на практике. Рассмотрена практически важная ситуация распространения большого ансамбля солитонов разной амплитуды. Детально промоделированы случаи малого и большого временного разрешения при измерении функций распределения. Проведено сравнение полученных теоретических результатов с известными экспериментальными данными.

25.01-01.136 Зарождение кластеризованной структуры пленок $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_{3-x}$ в магнетронной плазме: влияние электрических полей и ионного звука на левитацию частиц и "замороженные" колебания параметров пленок. **Окунев В.Д., Самойленко З.А., Николаенко Ю.М., Дьяченко Т.А., Бурховецкий В.В., Корнеев А.С.** *Физика твердого тела.* 2025. 67, № 1, с. 90-104. Рус.

Исследовано влияние формирующихся в магнетронной плазме разноразмерных кластеров ($D=50-400 \text{ \AA}$) на структуру и свойства 36 образцов пленок $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_{3-x}$, осажденных на стекло вдоль потока частиц. В результате сопоставления "замороженных" колебаний параметров пленок с реальными ионно-звуковыми колебаниями в плазме восстановлен сценарий ее кластеризации, невозможной без левитации частиц. Предложено феноменологическое описание этого явления. Показано, что при расстояниях от мишени $L \leq 2.15 \text{ см}$ кластеризация потока лимитируется левитацией атомных кластеров в результате равновесия между силой тяжести, давлением ионного звука и силой взаимодействия заряженных частиц с электрическими полями; вклад ионного звука в левитацию частиц здесь не превышает 12%. При отсутствии электрического поля ($L \geq 2.45 \text{ см}$) левитация зависит только от увлечения частиц ионно-звуковыми колебаниями. Результаты расчета критических размеров левитирующих атомных группировок согласуются с экспериментом. Изучено влияние изменений в зарядовом состоянии ионов марганца вдоль потока частиц на формирование кластерной структуры пленок. В интервале $2.15 < L < 2.45 \text{ см}$, где вдвое уменьшается размер кластеров, качественно меняется связь электрических свойств пленок с их структурой. Для кластеров с размерами, меньшими дебаевского радиуса экранирования ($l_D = 175 \pm 30 \text{ \AA}$), наблюдающиеся в образцах размерные эффекты согласуются с моделью локализации электронных состояний, предложенной Лифшицем. Ключевые слова: магнетронная плазма, разновалентные ионы марганца, кластеризация потока, левитация частиц, ионно-звуковая волна, аморфные пленки $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$.

25.01-01.137 Влияние ионно-звуковых солитонов на функции распределения по энергиям для холодных ионов в двухкомпонентной плазме. **Трущачев Ф.М., Васильев М.М., Петров О.Ф., Могилевский М.М., Чугунин Д.В.** *Теплофизика высоких температур.* 2023. 63, № 6, с. 661-671. Рус.

В рамках одномерной двухкомпонентной МГД-модели плазмы с горячими электронами и холодными ионами получено аналитическое выражение, описывающее функции распределения ионов по энергиям, возмущенные ионно-звуковыми солитонами. В расчетах использовалось как усреднение по ансамблю ионов, так и усреднение по времени для одного иона. Показано, что ионнозвуковые солитоны сильно влияют на функцию распределения ионов, отклоняя ее от начального равновесного состояния. При этом после прохождения солитона функция

распределения возвращается в первоначальное состояние. С использованием уравнения Кортевега—де Вриза получена явная формула для описания возмущенной функции распределения, которую можно применять на практике. Рассмотрена практически важная ситуация распространения большого ансамбля солитонов разной амплитуды. Детально промоделированы случаи малого и большого временного разрешения при измерении функций распределения. Проведено сравнение полученных теоретических результатов с известными экспериментальными данными.

Акустика вязкоупругих материалов

См. 25.01-01.48

Наноакустика, акустика тонких пленок и капель с наночастицами

25.01-01.138 Анализ влияния вязкоупругого основания на изгиб и колебания функционально-градиентных пористых наноластин в рамках интегральной теории деформации сдвига высшего порядка. **Baghdali I., Attia A., Bourada F., Bousahla A.A., Tounsi Abdeljebbar, Heireche H., Tounsi Abdelouahed, Bourada M., Yaylaci M.** *Физическая мезомеханика.* 2024. 27, № 6, с. 116-122. Рус.

Исследованы изгиб и колебания функционально-градиентной 2D наноструктуры, лежащей на вязкоупругом основании. Рассмотрена функционально-градиентная структура с изменяющимися по толщине свойствами. Расчеты проведены для трех моделей пористости. Нелокальные уравнения равновесия выведены на основе принципа Гамильтона с использованием нелокальной теории упругости Эрингена, которая включает интегральную теорию пластин с уменьшенным числом неизвестных. Проведено сравнение результатов, полученных для свободно опертой функционально-градиентной наноластины, с литературными данными. Выполнено несколько параметрических исследований для изучения влияния геометрии пластины, неоднородности материала, коэффициента упругого затухания и нелокального эффекта на напряжения, частоту и прогиб в центральной части функционально-градиентной наноластины. Ключевые слова: изгиб, свободные вибрации, функционально-градиентная нанопластина, интегральная теория пластин, теория Эрингена.

25.01-01.139 Анализ свободных колебаний функционально-градиентной магнитопьезо-термоупругой металлокерамической нанобалки в рамках модифицированной нелокальной теории градиента деформации. **Selvamani R., Rubine L., Prabhakaran T., Yaylaci M.** *Физическая мезомеханика.* 2024. 27, № 6, с. 123-126. Рус.

Работа посвящена изучению влияния переменного нелокального параметра, изменяющегося по толщине функционально-градиентной (ФГ) нанобалки. С использованием принципа Гамильтона получены определяющие уравнения движения ФГ нанобалки в рамках уточненной теории градиента деформации высшего порядка. Получено численное подтверждение с помощью решения уравнений Навье для свободно опертой ФГ нанобалки. Проведено сравнение с существующими в литературе данными для верификации полученных результатов. Кроме того, исследовано влияние нелокальных параметров металлокерамики, а также температуры, магнитного потенциала и электрического напряжения на свободные колебания нанобалки. Ключевые слова: функционально-градиентная пьезоэлектрическая балка, уточненная теория деформации сдвига высшего порядка, нелокальная пространственная волна, переменная нелокальная упругость.

Поверхностные волны в твердых телах и жидкостях

25.01-01.140 Эванесцентные акустические волны. **Каракозова А.И.** *Прикл. мат. и мех.* 2024. 88, № 3, с. 447-455. Рус.

Теоретическое исследование "геометрических" SP-эванесцентных (головных) волн, распространяющихся в изотропном однородном полупространстве или полуплоскости со свободной границей, показывает, что эти волны могут удовлетворять условию отсутствия усилий на граничной плоскости тогда и только тогда, когда параметр Ламе λ исчезающе мал, что делает существование головных волн такого типа практически невозможным. Анализ основан на представлении Гельмгольца для поля перемещений в сочетании с разложением тензора напряжений и деформаций на сферическую и девиаторную части. Полученный результат о несуществовании этого типа эванесцентных волн может найти применение в теоретической геофизике при исследовании сейсмических волновых полей в окрестности эпицентров землетрясений, а так же в неразрушающих акустических методах диагностики. Ключевые слова: эванесцентная волна; головная волна; упругая среда; изотропия; представление Гельмгольца.

25.01-01.141 Поверхностные акустические волны на границе двух пористых сред, насыщенных гидратом метана и водой (льдом). *Галиакбарова Э.В., Каримова Г.Р. Прикладная механика и техническая физика.* 2024. 65, № 6, с. 71-82. Рус.

Рассмотрены особенности распространения поверхностных акустических волн вертикальной поляризации на границе раздела пористых сред, насыщенных гидратом метана и льдом (водой), а также волны горизонтальной поляризации на границе раздела пористой среды, насыщенной гидратом, и пористой среды, насыщенной водой. Математическая модель записана для плоских гармонических волн. Пористая среда, насыщенная газогидратом или льдом (водой), полагается упругим изотропным телом. Математическая модель включает волновые уравнения для скалярных и векторных потенциалов скоростей волн с учетом компонент векторов смещения и напряжения частиц среды. Записаны условия непрерывности смещений и напряжений в пористых средах на границе раздела. Проведен анализ полученных дисперсионных уравнений и сравнение его результатов с экспериментальными данными. Установлено, что глубина проникания поперечной волны в песок, насыщенный гидратом, больше глубины проникания продольной волны. Предлагается определять наличие гидратонасыщенного песка при положительных температурах донных отложений по глубине проникания и изменению скорости нулевой моды волны горизонтальной поляризации.

См. также **25.01-01.27**, **25.01-01.131**

Акустоэлектроника

25.01-01.142 Импульсный режим работы широкополосных пьезопреобразователей с амплитудно-фазовым возбуждением. *Пестерев И.С., Степанов В.Г. Физические основы приборостроения.* 2023. 12, № 3, с. 82-91. Рус.

Рассматриваются особенности, возникающие при формировании ультракоротких импульсов широкополосными пьезопреобразователями с амплитудно-фазовым возбуждением, основанным на решении для них задачи синтеза. Обсуждается влияние на структуру ультракоротких акустических импульсов изменения частоты их формирования, длительности, вида задаваемых амплитудно- и фазочастотных характеристик излучения, а также — ограниченности апертуры антенны и связанного с этим расширения волнового фронта в дальней зоне. Приводятся результаты расчетов и экспериментальных исследований.

25.01-01.143 Гидродинамика расплава диоксида теллура при выращивании монокристаллов. *Иванов А.М., Каплунов И.А., Мочанов С.В., Третьяков С.А. Физические основы приборостроения.* 2024. 13, № 1, с. 38-42. Рус.

Рассмотрена проблема выращивания однородных по структуре кристаллов парателлурида, востребованных в акустооптике. Для описания процесса роста из расплава существенное значение имеют гидродинамические параметры (числа) Рейнольдса и Грасгофа, которые характеризуют потоки, формирующиеся в расплаве, и определяются, в том числе, параметрами и условиями процесса на разных этапах. Выявлены проблемы, возникающие в ходе регулирования скорости вращения заготовки

для выполнения известного критерия поддержания равенства указанных чисел. Показана неустойчивость процесса такого регулирования, что приводит к возникновению локальных структурных неоднородностей во внутреннем объеме растущего кристалла. Предложен новый подход к определению геометрии выращиваемого кристалла, который может сделать процесс роста устойчивым с точки зрения гидродинамики, что позволит получать более однородные образцы и делать из них акустооптические ячейки большего размера.

25.01-01.144 Демодулятор импульсных сигналов на основе фотоупругого эффекта. *Агаев Э.А., Азмедов Р.А., Аллавердизаде Р.А., Гасанов А.Р., Гасанов Р.А., Гусейнов А.Г. Физические основы приборостроения.* 2024. 13, № 1, с. 43-49. Рус.

Особенности фотоупругого эффекта обсуждаются в контексте детектирования импульсных сигналов. Составлена физико-математическая количественная интерпретация процесса формирования импульсов на выходе фотодетектора. Показано, что основным фактором, влияющим на форму выходного импульса, является время нарастания переходной характеристики демодулятора. Установлено, что этот параметр формируется в основном за счет влияния двух факторов: времени вхождения упругого волнового пакета в оптический пучок и времени нарастания переходной характеристики фотодетектора. Для оценки степени влияния этих факторов был проведен численный анализ. Результаты теоретических исследований и численного анализа проверены экспериментально. Установлено, что при использовании быстродействующего фотодетектора его влиянием на формирование переходной характеристики акустооптического демодулятора можно пренебречь. В случае инерционного фотодетектора можно пренебречь влиянием параметров акустооптического взаимодействия.

25.01-01.145 Алгоритм оптимального посимвольного приема цифровых сигналов с пониженной сложностью реализации. *Назаров Л.Е., Батанов В.В. Физические основы приборостроения.* 2024. 13, № 3, с. 49-55. Рус.

Дано описание алгоритма оптимального посимвольного приема информационно-емких цифровых сигналов с пониженной сложностью программной реализации. Выполнение алгоритма основано на использовании экономичного представления чисел формата float, что снимает ограничение на динамический диапазон сигнал/помеха, на длину кодовых слов и на тип сигнальных «созвездий». Приведены результаты исследований помехоустойчивости рассматриваемого модифицированного алгоритма оптимального посимвольного приема сигнальных конструкций на основе сигнальных «созвездий» цифровых сигналов с многофазовой манипуляцией, интенсивно используемых в приложениях, и простого корректирующего кода с проверкой на четность в не двоичных полях Галуа. Ключевые слова: цифровая обработка сигналов и изображений в акустооптике и радиофизике.

25.01-01.146 Современные подходы к моделированию резонаторов, дисперсионных линий задержек и полосовых фильтров на пав с использованием метода конечных элементов. *Койгеров А.С., Реут В.Р. Акустический журнал.* 2024. 70, № 55, с. 42. Рус.

Рассмотрены два подхода моделирования устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ) — феноменологический на основе модели связанных мод и численный на основе метода конечных элементов. Показано, что необходимые для модели связанных мод параметры (скорость ПАВ, коэффициент отражения, коэффициент электромеханической связи и др.) можно получить с помощью численного анализа бесконечных жестких структур в пакете COMSOL Multiphysics. Представлены результаты расчета и измерений коэффициентов передачи для ряда устройств на ПАВ. Приведены результаты разработки двухпортового резонатора на поверхностных поперечных волнах (STW) с ненагруженной добротностью 27000. Представлены измерения двухпортового STW-резонатора, выполненные в составе макета малошумящего автогенератора на 896 МГц, которые демонстрируют уровень фазового шума — 135 дБ/Гц при отстройке 1 кГц и —175 дБ/Гц при отстройке 100 кГц от несущей частоты. Представлены характеристики

дисперсионных линий задержек на волнах Рэлея с рабочими частотами до 1.5 ГГц, способных обеспечить сжатие сигналов с линейной частотной модуляцией длительностью от 170 нс до 9 мкс с различными значениями девиации частоты. Приведены характеристики резонаторных полосовых фильтров (в том числе и на вытекающих ПАВ) с рабочими частотами до 2.5 ГГц с относительно малым уровнем вносимого затухания.

25.01-01.147 Исследование влияния непроводящих жидкостей на эквивалентную схему резонатора с продольным электрическим полем. Семёнов А.П., Зайцев В.Д., Теплых А.А., Бородина И.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 42-43. Рус.

Исследовано влияние непроводящих жидкостей с различной диэлектрической проницаемостью на эквивалентную схему пьезоэлектрического резонатора с продольным электрическим полем, полностью погруженного в жидкость. Определены материальные константы таких жидкостей как вода, 71% этанол, изопропиловый спирт, ацетон, уайт-спирит, керосин ТС-1 и вазелиновое масло. Для проведения исследований был использован резонатор, изготовленный из пластины лангсита X-среза, работающий на объемной продольной акустической моде. Этот резонатор с резонансной частотой около 4 МГц был закреплен в основании контейнера объемом 30 мл. В ходе экспериментов контейнер с резонатором заполняли исследуемой жидкостью и измеряли частотные зависимости реальной и мнимой частей электрического импеданса резонатора. Все эксперименты с жидкостями проводились при комнатной температуре 24—25°C. Предложена уточненная эквивалентная электромеханическая схема Мэсона, учитывающая изменение эффективной площади электродов резонатора, связанное с диэлектрической проницаемостью жидкости. Путем подгонки теоретических частотных зависимостей реальной и мнимой частей электрического импеданса резонатора, погруженного в жидкость, к измеренным с использованием метода наименьших квадратов были получены значения продольного модуля упругости, продольного коэффициента вязкости и скорости продольной акустической волны для исследуемых образцов жидкостей. Были также определены значения эффективной емкости резонатора, добавочной краевой емкости и добавочного сопротивления в электрической части эквивалентной схемы. Установлено, что увеличение диэлектрической проницаемости жидкости приводит к увеличению эффективной площади электродов резонатора. При этом с ростом диэлектрической проницаемости жидкости значение краевой добавочной емкости также увеличивается. Сопоставление полученных значений модуля упругости и скорости продольной акустической волны для исследуемых жидкостей с табличными значениями показало их хорошее соответствие.

25.01-01.148 Акустоэлектронный датчик вкуса. Агейжин Н.А., Анисимкин В.А., Смирнов А.В., Фионов А.С. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 43. Рус.

Экспериментально исследована чувствительность волн Лэмба нулевого и высших порядков к совокупному воздействию физических параметров жидкостной пробы (плотности, вязкости, электропроводности, диэлектрической постоянной), которая наносится между встречно-штыревыми преобразователями на одной из поверхностей пьезоэлектрической пластины 128°Y-LiNbO₃. На примере жидкостей, отвечающих за 5 базовых вкусов (сладкого, соленого, кислого, горького, умами), показано, что изменение поглощения волн при изменении сорта жидкости, ее температуры, номера моды и направления распространения меняется до нескольких раз, а величина максимального отклика превышает 1 дБ/мм. Это позволяет идентифицировать жидкости по нескольким полярным гистограммам, измеренным в разных направлениях распространения, для разных мод и температур, что повышает достоверность идентификации. Методика дает возможность оперативно отличать одну жидкость от другой и определять соответствие тестируемой жидкости заданному стандарту. Объем пробы — порядка 100 мкл, толщина пластины — 500 мкм, период преобразователей — 200 мкм, расстояние между преобразователями — 24 мм.

25.01-01.149 Влияние вязкости и проводимости жидкости на характеристики резонатора с радиальным электрическим полем. Теплых А.А., Семёнов А.П., Зайцев В.Д., Бородина И.А. *Акустический журнал*. 2024.

70, № 5S, с. 43-44. Рус.

Одним из возможных новых применений пьезокерамических резонаторов является создание на их основе датчиков для определения свойств жидкости методом широкополосной акустической спектроскопии. Для этого сначала определяются акустические характеристики свободного акустического резонатора в достаточно широком частотном диапазоне и строится математическая модель резонатора. Затем свободный торец резонатора соприкасается с исследуемой жидкостью и измерения повторяются в том же самом частотном диапазоне. Свойства жидкости можно определить путем решения “обратной задачи” по изменению резонансных частот и уменьшению высоты наблюдаемых резонансных пиков. Чтобы этот метод позволил определить одновременно механические и электрические свойства жидкости, электрическое поле, которое сопровождает акустические колебания в пьезорезонаторе должно свободно проникать в жидкость, т.е. жидкость должна находиться в непосредственном контакте с материалом резонатора, а не с электродом на его поверхности. В данной работе был использован дисковый акустический резонатор с радиальным возбуждающим полем из пьезокерамики ЦТБС-3. Была рассмотрена задача о колебаниях свободного резонатора, а также резонатора, свободный торец которого соприкасался с исследуемой жидкостью. Были найдены зависимости резонансных частот и добротностей различных мод колебаний диска от акустического импеданса, вязкости и электрической проводимости жидкости. Показано, что жидкости с вязкостью от 1 мПа*с до 1000 мПа*с и проводимостью от 0.05 мксм/см до 10000 мксм/см оказывают достаточное влияние на резонатор, что позволяет определить характеристики жидкости.

25.01-01.150 Акустоэлектронный биосенсор метилового спирта на основе пленки Ленгмюра—Блоджетт с иммобилизованным ферментом алкогольоксидазы. Горбачев И.А., Смирнов А.В., Колесов В.В., Кузнецова И.Е. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 44. Рус.

Сформированы и исследованы сенсорные свойства тонких биопленок фосфолипидных молекул с иммобилизованным ферментом к парам спиртов. Для этого методом Ленгмюра—Блоджетт были сформированы пленочные покрытия из молекул 1,2-дипальмитоил-sn-глицеро-3-фосфоэтаноламина с иммобилизованными молекулами фермента алкогольоксидазы и перенесены на акустические линии задержки из ниобата лития. Иммобилизация фермента в пленке происходила в процессе формирования монослоя. В ходе изучения морфологии полученных пленочных покрытий методом атомно-силовой микроскопии было установлено наличие в них агрегатов молекул фермента. Далее были изучены сенсорные свойства сформированных покрытий к парам метилового, этилового и изопропилового спиртов. Для этого сенсорная пленка была перенесена на акустическую линию задержки на поверхностных акустических волнах с частотой 120 МГц. Установлено, что созданные покрытия обладают селективной чувствительностью к парам метилового спирта. Обнаружено, что при взаимодействии изготовленного биосенсора с парами метилового спирта потер на преобразование сигнала, увеличиваются до 2.4 дБ, а фаза сигнала уменьшается на 40°. Созданное сенсорное покрытие может быть использовано для создания акустоэлектронного биосенсора метанола. Увеличение чувствительности подобных биосенсоров можно достичь путем варьирования таких технологических параметров, как количество слоев в пленке, а также количеством иммобилизованного фермента в каждом из слоев.

25.01-01.151 Механические колебания в пучках поверхностных акустических волн: теория и эксперимент. Даринский А.Н. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 44-45. Рус.

Для ряда применений устройств на ПАВ, например, для управления потоками в малых объемах жидкости, т.е., в микрофлюидике, важно оценить не только распределение амплитуды колебаний по апертуре пучка ПАВ, излучаемого ВШП, но и непосредственно амплитуду колебаний. Обсуждается, в каких случаях и с какой точностью можно найти профиль пучка ПАВ и амплитуду нормальных механических смещений на поверхности подложки, не используя какие-либо экспериментальные данные о механических смещениях, но зная парамет-

ры ВПП и измерив его АЧХ. Результаты получены для набора ВПП с разной апертурой и разным числом электродов на подложке $128YX \text{ LiNbO}_3$. Численные расчеты выполнялись методом конечных элементов в плоскости, задаваемой направлением распространения X и нормалью к поверхности Z . Иными словами, на этом этапе предполагалось, что электроды имеют бесконечную протяженность по оси Y . Амплитуда нормальных колебаний $uz(x,y)$ в плоскости поверхности YX , генерируемых ВПП с конечной апертурой, вычислялась по результатам 2D расчетов тремя способами: 1) параболическое приближение, 2) пространственное спектральное разложение смещений, 3) пространственное спектральное разложение электрического напряжения. Результаты численных расчетов сравниваются с экспериментальными данными, полученными с помощью лазерного доплеровского виброметра. Напряжение на электродах для расчета теоретических значений $uz(x,y)$ находилось определенным образом по напряжению на входе экспериментального образца в процессе работы виброметра, и при этом использовалась заранее измеренная АЧХ ВПП.

25.01-01.152 Поверхностные акустические волны в одномерных фоновых кристаллах произвольной анизотропии. Даринский А.Н. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 45. Рус.

Анализируется существование ПАВ в полуограниченных одномерных пьезоэлектрических и пьезоэлектрических фоновых кристаллах, образованных твердыми слоями произвольной анизотропии. Поскольку численные расчеты не позволяют делать какие-либо общие выводы, нами развит аналитический метод, основанный на использовании свойств трансфер-матрицы периода и матрицы (электро)механического импеданса полубесконечной стратифицированной среды. Необходимые свойства устанавливаются исходя из энергетических соотношений для волнового поля и фактов, известных из линейной алгебры. В рамках нашего подхода явные выражения для элементов матриц через материальные константы не нужны; кроме того, такие выражения можно получить лишь для отдельных геометрий распространения, определяемых кристаллографической симметрией. Будут представлены результаты, касающиеся допустимого числа ПАВ в запрещенных зонах блоховского спектра фоновых кристаллов при различных граничных условиях в общем случае произвольного порядка слоев в периоде и в случае, когда слои расположены симметрично относительно середины периода. Обсуждается связь между существованием ПАВ в двух полуограниченных фоновых кристаллах со взаимно обратным порядком слоев в периоде. Рассматриваются также незатухающие ПАВ в разрешенных зонах блоховского спектра, т.е., ПАВ, которые можно отнести, согласно современной терминологии, к классу решений “связанные состояния в континууме”.

25.01-01.153 Теоретическое и экспериментальное исследование щелевой моды в структуре, состоящей из двух пьезоэлектрических пластин, разделенных воздушным зазором. Зайцев Б.Д., Теплых А.А., Семёнов А.П., Бородин И.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 45-46. Рус.

Проведен теоретический анализ щелевой моды в структуре “основная пьезоэлектрическая пластина—воздушный зазор—резонирующая пьезоэлектрическая пластина”. На основной пьезоэлектрической пластине толщиной 0.2 мм из ниобата лития $Y-X$ среза нанесены два встречно — штыревых преобразователя для возбуждения и приема акустической волны с поперечно-горизонтальной поляризацией в диапазоне 2.5–4 МГц. Вторая резонирующая пластина выполнена из ниобата лития $Z-X$ среза толщиной 0.5 мм. При подаче переменного напряжения на входной преобразователь на частотной зависимости полных потерь обнаружены резонансные пики поглощения, свидетельствующие о возбуждении щелевой моды. Анализ показал, что с ростом ширины зазора от 5 до 20 мкм глубина пиков изменяется от 60 до 20 дБ. Изменение толщины резонирующей пластины от 0.6 до 0.55 мм увеличивает глубину пиков от 35 до 50 дБ. Дальнейшее изменение толщины до 0.45 мм уменьшает глубину пиков до 40 дБ. И наконец, увеличение ширины резонирующей пластины от 16 мм до 20 мм при зазоре 10 мкм увеличивает глубину пиков от 25 до 45 дБ.

Дальнейший рост ширины пластины до 22 мм уменьшает глубину пиков до 35 дБ. При этом с ростом ширины резонирующей пластины расстояние по частоте между пиками уменьшается. Было проведено экспериментальное исследование щелевой моды с оптимальными геометрическими размерами структуры и результаты эксперимента оказались в хорошем соответствии с теоретическими выводами.

25.01-01.154 Исследование акусто магнитной динамики методом акустической и спин холловской спектроскопии. Ползикова Н.И., Алексеев С.Г., Лузанов В.А., Раевский А.О., Никитов С.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 46. Рус.

Нелинейные магнот-фононные взаимодействия представляют интерес для множества применений, в частности, для создания нейроморфных систем. Ранее был предложен метод возбуждения магнитной динамики в многочастотном композитном резонаторе сдвиговых волн со слоем ферромагнетика (НВАР), и развита теория, описывающая его работу для одного типа акустических мод. Поскольку реальный НВАР возбуждает сразу несколько типов мод, актуальной является задача их идентификации. В работе получены магнито-полевые зависимости комплексного коэффициента отражения S_{11} и напряжения обратного спинового эффекта Холла (V_{ISHE}) для НВАР, определены диапазоны линейного и параметрического режимов возбуждения магнитной динамики. Сравнение формы частотных зависимостей (спектра) S_{11} и V_{ISHE} позволило идентифицировать пластинчатые (лэмбовские) моды с преобладающей компонентой поляризации вдоль и поперек поля соответственно. Метод может оказаться полезным для изучения работы НВАР, определения механизмов магнот-фононного взаимодействия, уточнения вычислительных моделей, оценки ориентации пьезоэлектрической пленки и параметров материалов резонатора.

25.01-01.155 Бесконтактное влияние электропроводности жидкости на характеристики SH_0 -волны. Шамсутдинова Е.С., Смирнов А.В., Кузнецова И.Е. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 46. Рус.

Исследовано бесконтактное изменение характеристик акустической волны в пластине с встречно-горизонтальной поляризацией (SH_0 -волна) при приближении жидкости с электропроводностью в диапазоне 0.001–1 см/м. Разработано акустоэлектронное устройство, состоящее из акустической линии задержки на пластине $YX\text{-LiNbO}_3$ со следующими параметрами: $h/\lambda=0.25$, $h=350$ мкм, $\lambda=1400$ мкм, $f=2.847$ МГц; векторного анализатора цепей Tektronix, резервуара для жидкости, держателя, 3-х осевого координатного столика и прецизионного микровинта с невращающимся шпинделем. На резервуар для жидкости для поддержания влажности крепилась тонкая пленка толщиной 50 мкм. Показано, что с приближением электропроводной жидкости к пластине ниобата лития на расстояние 1 мм изменяются показания поглощения и фазы SH_0 -волны при постоянстве температуры и влажности. Максимальные изменения для разных концентраций электропроводных растворов составили $\Delta S_{12} \approx 0.4$ дБ и $\Delta \Phi \approx 10^\circ$.

25.01-01.156 Влияние постепенного электрического закорачивания на характеристики обратных акустических волн в пьезоэлектрических пластинах. Смирнов А.В., Недоспасов И.А., Кузнецова И.Е. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 47. Рус.

В настоящее время активно ведутся исследования обратных акустических волн в пьезоэлектрических пластинах. Этот тип волн характеризуется противоположно направленными фазовыми и групповыми скоростями. Интересным свойством пьезоактивных обратных акустических волн, обнаруженным теоретически, оказалось увеличение их фазовых скоростей при электрическом закорачивании поверхности пластины пьезоэлектрика. Это может быть связано с формализмом математического анализа, поскольку их фазовые и групповые скорости направлены в противоположные стороны. Экспериментальные исследования влияния электрических граничных условий на характеристики обратных пьезоактивных акустических волн ранее не проводились. Поэтому целью работы было изучение влияния расстояния от идеально проводящего экрана до поверхно-

сти пьезоэлектрика на характеристики обратной ветви волны A_1 . Для исследования был создан экспериментальный стенд, состоящий из прецизионного микровинта с не вращающимся шпинделем и пластины пьезоэлектрика со сформированным на ее поверхности набором ВПП с длиной волны 1.0–2.0 мм с шагом 0.1 мм. Микровинт обеспечивал плоскопараллельное перемещение металлического экрана в диапазоне 0–500 мкм с точностью до 1 мкм. Набор ВПП позволил изучить поведение обратной волны на различных участках обратной ветви волны A_1 , в том числе вблизи точки с нулевой групповой скоростью (ZGV). Ближе всего к ZGV-точке находится ВПП с длиной волны 1 мм. Особенность заключается в том, что чем ближе к точке ZGV, тем менее чувствителен пик обратной волны к приближению металла. По мере удаления от точки ZGV влияние металла возрастает как на смещение частоты пика, так и на изменение его амплитуды.

25.01-01.157 Процессы нелинейной генерации второго порядка обобщенных акустических мод в пластинах. *Пульрёв П.Д., Недоспасов И.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 47. Рус.

С помощью полуаналитического метода конечных элементов (МКЭ) рассчитаны дисперсионные соотношения для мод обобщенной пластины, в системе, состоящей из двух упругих полупространств в контакте с упругим слоем. Анализируются процессы коллинеарного смешивания акустических волн с помощью нелинейности второго порядка на примере двух собственных мод в обобщенных пластинах. Выявлена тройка мод, удовлетворяющих условию фазового синхронизма для эффективной генерации комбинационной гармоники (процесс нелинейного смешивания). Показана возможность оценки эффективности этих нелинейных процессов через параметр акустической нелинейности (ANP). Для набора мод на выбранных дисперсионных кривых, удовлетворяющих условию фазового синхронизма, рассчитана эффективность нелинейного смешивания. Данный подход был применен также к одномерным краевым волнам в упругой полупластине с жесткими гранями, которые были рассчитаны в рамках метода конечных элементов.

25.01-01.158 Сверхвысокочастотные волны лэмба, рэлея и sh волны в тонкой алмазной пластине: эксперимент и расчет. *Сорокин В.П., Асафьев Н.О., Яшин Д.В., Бурков С.И., Кузнецов М.С.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 48. Рус.

Целью данной работы является рассмотрение особенностей возбуждения и распространения СВЧ волн Лэмба, Рэлея и SH-волн с частотами до 20 ГГц в мультислойной пьезоэлектрической структуре “Al-ВПП/(Al,Sc)N/(001)[110] алмаз” на основе тонкой алмазной подложки (60 мкм). Будут представлены амплитудно-частотные характеристики в диапазоне 0.5–20 ГГц, изучены дисперсионные характеристики, рассчитаны профили волн и выполнена их идентификация, а также исследовано влияние осаждения пленки Pt на свободную поверхность алмазной подложки.

25.01-01.159 Акустический датчик динамического давления. *Голованов Е.В., Кашин В.В., Папроцкий С.К., Колесов В.В.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 48. Рус.

Исследование зависимости давления от времени в ударно-волновом эксперименте имеет большое значение для описания волновых процессов в среде. Пьезоэлектрические датчики достаточно широко используются в практике ударно-волнового эксперимента. В работе описана технология создания датчика динамического давления для исследования профиля акустического пучка и его конструкция. Для изготовления датчиков используется пьезоэлектрическая пленка из полимерного пьезоэлектрического материала — поливинилиденфторида (ПВДФ) толщиной 100 мкм. Металлические электроды наносятся на пленку методом магнетронного напыления через маску, изготовленную с помощью технологии проекционной фотолитографии. Представлены результаты регистрации с помощью акустического датчика динамического давления профилей давления. Приведены технологии изготовления и электрической поляризации датчика динамического давления на основе полимерного пьезоэлектрика поливинилиденфторида (ПВДФ).

25.01-01.160 Дисперсионные зависимости волн лэмба в многослойных пьезоэлектрических структурах при воздействии одноосного механического давления. *Бурков С.И., Плетнев О.Н., Турчин П.П., Турчин В.И.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 48. Рус.

Проведено теоретическое исследование влияния одноосного механического давления на характеристики распространения волн Лэмба и SH-волн в многослойной структуре типа “Al/AlN/diamond” на основе изменения точечной группы симметрии, а также эффективных упругих констант под воздействием одноосного механического давления. Управляющие коэффициенты, описывающие влияние одноосного механического давления на фазовые скорости волн Лэмба и SH-волн, рассчитаны при различных вариантах приложения одноосного механического давления к слоистой структуре. Отмечены условия приложения одноосного механического давления, при которых изменения фазовых скоростей мод волны Лэмба максимальные либо равны нулю, что может иметь большое значение для разработки управляемых акустоэлектронных устройств.

25.01-01.161 Моделирование управляемого электрического эквивалента мощного гидроакустического излучателя со сложным импедансным спектром на основе гиратора. *Бритенков А.К., Захаров С.Б., Травин Р.В., Фарфель В.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 49. Рус.

Для испытаний на номинальной мощности и настройки систем возбуждения низкочастотных гидроакустических излучателей широко используются электрические эквиваленты. Пьезоэлектрические преобразователи при излучении звука с акустической мощностью в сотни и тысячи Вт предполагают высокие значения напряжения, подаваемого от системы возбуждения на НЧИ, что накладывает специфические требования на расчет и изготовление электрических эквивалентов мощных излучателей. Кроме этого, зависимость резонансной частоты и сопротивления излучению от глубины постановки излучателя может потребоваться перестройка резонансной частоты рабочей полосы частот эквивалента. Таким образом, для настройки системы возбуждения целесообразно использование мощного электрического эквивалента с возможностью изменения параметров во время имитации излучения. В работе показано, что использование в схеме замещения гидроакустического излучателя электронного аналога индуктивности (гиратора) на основе операционного усилителя позволяет моделировать сложные импедансные спектры с возможностью управления параметрами эквивалента непосредственно во время имитации излучения.

См. также **25.01-01.139**

Акустические явления в метаматериалах

25.01-01.162 Проектирование звукопоглощающих сотовых материалов с геометрией трижды периодических поверхностей минимальной энергии (ТППМЭ). *Сысов Е.И., Сычев М.М., Шафигуллин Л.Н., Дьяченко С.В.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5, с. 765-777. Рус.

Предложено использование сотовых материалов с геометрией трижды периодических поверхностей минимальной энергии (ТППМЭ) для создания прочных сотовых материалов с управляемыми акустическими характеристиками. Были разработаны однородные элементарные ячейки с топологией Primitive, Diamond, FRD и Sigmoid разной пористости и определены их акустические параметры. С использованием полуфеноменологической модели Джонсона—Шампу—Алларда—Лафаржа—Прайда была оценена звукопоглощающая способность материалов с данной геометрией. Было показано, что, варьируя размер элементарной ячейки и толщину образца, можно управлять акустическими характеристиками и средним коэффициентом звукопоглощения в диапазоне от 0.2 до 0.8. Достоверность расчетов подтверждена экспериментально с использованием аддитивно изготовленных образцов. Полученные результаты демонстрируют потенциал применения ТППМЭ для создания материалов с контролируемой геометрией пор для достижения предсказуемых характеристик звукопоглощения.

25.01-01.163 Неупругое взаимодействие и расщепление солитонов деформации, распространяющихся в стержне, изготовленном из ауксетического материала. Ерофеев В.И., Павлов И.С. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 29. Рус.

Проведенное численное исследование встречного и попутного взаимодействия сильно нелинейных солитоноподобных “дозвуковых” и “сверхзвуковых” волн в стержне, изготовленном из ауксетического метаматериала, показало, что в зависимости от значений параметров микроструктуры система может обладать как “жесткой”, так и “мягкой” нелинейностью. В системе с “мягкой” нелинейностью могут существовать “дозвуковые” солитоноподобные волны, которые устойчиво распространяются, начиная с некоторой скорости. “Дозвуковые” солитоны взаимодействуют неупруго, при этом наблюдается их взаимное ускорение, то есть отрицательный сдвиг фазы. В системе с “жесткой” нелинейностью реализуются “сверхзвуковые” солитоноподобные волны, которые также неупруго взаимодействуют, однако сценарий взаимодействия зависит от относительной скорости столкновения. При малой скорости столкновения происходит обменное взаимодействие. При попутном столкновении со сверхзвуковой скоростью могут образоваться один или два пакета квазигармонических волн, распространяющихся в противоположные стороны. Если скорость столкновения превосходит в несколько раз скорость звука, то при встречном и попутном взаимодействиях наблюдается расщепление солитона на ряд вторичных солитонов с образованием пакетов квазигармонических волн.

25.01-01.164 Акустические волны в градиентной модели метаматериала из сферических частиц. Павлов И.С., Васильев А.А., Дмитриев С.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 29-30. Рус.

Методом структурного моделирования построена трехмерная модель метаматериала, представляющая собой простую кубическую решетку из сферических частиц, обладающих тремя трансляционными и тремя ротационными степенями свободы. Найдена аналитическая взаимосвязь между макроконстантами такого материала и параметрами его микроструктуры. В низкочастотном приближении, когда ротационные волны являются нераспространяющимися, а микроповороты частиц среды не являются независимыми и определяются полем смещений, получена градиентная модель исследуемой среды. В рамках этой модели найдены выражения для классических и моментных напряжений в рассматриваемой среде. Граничные условия задаются в виде нулевых нормальных и касательных напряжений на верхней площадке полубесконечной среды. Изучены дисперсионные свойства градиентной модели при распространении волн в различных кристаллографических направлениях. Выявлено влияние микроструктуры среды на такие свойства. Показано существование области значений макропараметров среды, зависящих от параметров микроструктуры, в которой распространяется лишь одна волновая мода. Проведенные исследования могут быть полезными для решения задач о распространении акустических волн в полубесконечной среде с микроструктурой. Роль такой среды могут играть как кристаллические материалы (в частности, фуллериты), так и геосреды (при рассмотрении движения по ее поверхности высокоскоростных объектов).

25.01-01.165 Особенности использования агма и агх моделей на примере исследования акустических поглотителей метаматериального типа. Карпов И.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 30. Рус.

Сообщается об особенностях использования набирающих в последнее время популярность параметрических методов моделирования линейных колебательных систем. Дискретные параметрические модели, такие как ARMA и ARX, способны с высокой точностью идентифицировать модельные параметры системы и оценивать спектральную плотность мощности, не говоря уже о возможности прогнозирования сигналов за пределами временных окон измерения. Однако, у такого подхода есть существенная проблема, которая заключается в определении корректного порядка (количества коэффициентов) используемой модели. Для решения этой проблемы рассматривается предложенный ранее критерий для нахождения адекватной модели,

названный энергетическим критерием ЕС (Energy Criterion). Он определяется как отношение разности спектральных плотностей мощности (PSD) колебаний модели к PSD системы [Акустический журнал. 2023. Т. 69. № 6. С. 665-684]. Приведены примеры использования критерия для моделирования и определения потерь поглотителей звука из метаматериалов.

25.01-01.166 Дискретное моделирование АММ. Бобровицкий Ю.И. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 30. Рус.

В настоящее время общепринято, что акустические метаматериалы (АММ) могут обладать необычными полезными волновыми свойствами. Однако, их проектирование по заданным волновым свойствам является до сих пор предметом проб и ошибок или изобретательства. Предлагается одна из возможных аналитических схем построения таких структур на основе дискретного моделирования АММ. Приведены примеры.

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

25.01-01.167 Изотропная дифракция бесселева светового пучка при акустооптическом взаимодействии. Хило П.А., Ревенюк М.А. Пробл. физ., мат. и техн. 2024, № 3(60), с. 44-47. Рус.

Исследован процесс акустооптической (АО) дифракции бесселева пучка ТЕ-типа на бесселевом акустическом пучке в акустически поперечно изотропных кристаллах. Рассмотрена АО дифракция на вертикально поляризованной (SV-) акустической волне, позволяющая задействовать в АО- процессе диагональные компоненты тензора диэлектрической проницаемости. Установлено, что за счет указанных диагональных компонент может быть реализована изотропная дифракция бесселева светового пучка с высокой эффективностью. Предложенная схема АО дифракции представляет интерес для модуляции бесселевых световых пучков с возможностями динамической перестройки их параметров.

См. также **25.01-01.133, 25.01-01.177**

Термоакустика, высокотемпературная акустика, фотоакустический эффект

25.01-01.168 Проверка соотношений, полученных в радиоастрономии, при корреляционном приеме теплового акустического излучения. Аносов А.А., Грановский Н.В., Ерофеев А.В., Мансфельд А.Д., Беляев Р.В., Казанский А.С. Акустический журнал. 2024. 70, № 6, с. 807-814. Рус.

Осуществлен корреляционный прием теплового акустического излучения парой датчиков. В эксперименте использовали приемники с разной полосой пропускания, меняли размер нагретых источников и расстояние от источников до приемников, а также сдвигали источники в поперечном направлении перпендикулярно акустической оси системы. Для каждого случая с помощью соотношений, используемых в радиоастрономии, были рассчитаны корреляционные функции теплового акустического излучения. Показано, что полученные в экспериментах и рассчитанные кросскорреляционные функции близки с учетом погрешности измерений.

См. также **25.01-01.133**

Химические процессы и фазовые переходы при воздействии ультразвука

25.01-01.169 Эволюция структуры аморфного сплава $Al_{87}Ni_{18}Y_5$ при ультразвуковой обработке. Чиркова В.В., Волков Н.А., Абросимова Г.Е. Физика твердого тела. 2025. 67, № 1, с. 56-62. Рус.

Методом рентгеноструктурного анализа исследована эволюция структуры аморфного сплава $Al_{87}Ni_{18}Y_5$ при ультразвуковой обработке. Установлено, что после ультразвуковой обработ-

ки происходит образование небольшого количества нанокристаллов алюминия. Размер нанокристаллов зависит от условий обработки: изменение мощности и продолжительности ультразвукового воздействия приводит к увеличению среднего размера нанокристаллов. Причины появления нанокристаллов в аморфной фазе в процессе ультразвуковой обработки обсуждаются в контексте свободного объема. Ключевые слова: металлические стекла, кристаллизация, нанокристаллы, свободный объем, рентгеноструктурный анализ.

Ультразвук в неразрушающем контроле, промышленных технологиях и изделиях

25.01-01.170 Создание фокусированных акустических пучков высокой интенсивности в воздухе с помощью 128-элементного излучателя ближнего ультразвукового диапазона. Сапожников О.А., Асфандияров Ш.А., Цысарь С.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 81. Рус.

Описывается 128-элементная излучающая ультразвуковая антенная решетка, предназначенная для создания фокусированных акустических пучков высокой интенсивности в воздухе в ближнем ультразвуковом диапазоне. Элементы решетки представляют собой пьезоэлектрические преобразователи, установленные на резьбовых стержневых держателях на акриловой сферической чаше, что позволяет не только обеспечить фокусировку, но и регулировать форму фазового фронта излучаемого ультразвукового пучка. Рабочая частота равна 35.5 кГц, диаметр излучателя и фокусное расстояние — 0.5 м. Элементы установлены плотно друг к другу, причем их центры расположены на 8 спиралях, что позволяет избежать периодичности и тем самым подавить паразитные дифракционные максимумы. Все элементы решетки электрически соединены параллельно и возбуждаются сигналом от бытового усилителя электрической мощности. Для исследования характеристик излучаемого ультразвукового пучка использован метод импульсной акустической голографии, в рамках которого с помощью синтезированной двумерной приемной решетки регистрировались сигналы акустического давления на плоскости, расположенной на расстоянии от излучателя, равном половине фокусного расстояния. Эта запись (голограмма) была использована для расчета распределения акустического поля в пространстве, а также для нахождения колебательной скорости на поверхности излучателя. В дополнение к микрофонным измерениям был проведен эксперимент по нахождению полной акустической мощности методом радиометра, в ходе которого была измерена акустическая радиационная сила, действующая на конический отражатель. Роль акустической нелинейности была теоретически изучена с использованием пакета “HIFU beam”. Показано, что в фокусе разработанной решетки достигается уровень акустического давления более 170 дБ.

25.01-01.171 Сочетание объемного ультразвукового нагрева с поверхностным охлаждением как новый метод пространственной и временной локализации теплового воздействия на биоткани. Рыбьянец А.Н., Швецов И.А., Швецова Н.А., Цысарь С.А., Котельникова Л.М., Хозлова В.А., Сапожников О.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 81-82. Рус.

Методы современной ультразвуковой терапии основаны на использовании фокусированных излучателей, позволяющих осуществлять локализованное воздействие на ткани без повреждения кожи и окружающих целевую область участков. При этом для облучения большого объема ткани фокус приходится перемещать в пределах задаваемого объема, что увеличивает время процедуры и риск перегрева тканей на пути к фокусу. Таким образом, существует потребность в альтернативных методах и устройствах, в которых ультразвуковая энергия передается более безопасным и производительным способом. В настоящей работе представлен новый метод пространственно-временной локализации ультразвукового воздействия на подкожные ткани путем сочетания объемного нагрева с поверхностным охлаждением. Разработан ультразвуковой преобразователь, представляющий собой склейку из плоской прямоугольной пьезопластины толщиной 1 мм размером 15 на 25 мм и алюминиевой

пластины толщиной 3 мм размером 25 на 40 мм. Алюминиевая пластина термостатировалась путем прокачки холодной воды через каналы, просверленные вдоль ее боковых участков. Склейка обрабатывалась внешней стороной алюминиевой пластины к поверхности облучаемого объема и, тем самым, представляла собой ультразвуковой источник с воздушной тыльной нагрузкой и контролируемой температурой излучающей поверхности. Рабочая частота указанного преобразователя составляла 2.1 МГц. В клинических условиях суперпозиция температурного поля, возникающего в результате объемного нагрева за счет поглощения ультразвука, и тепловой волны от прижатой к коже охлажденной излучающей поверхности, позволяет обеспечить контролируемую локализацию ультразвукового нагрева в подкожных слоях тканей пациента. Акустическое поле созданного преобразователя было охарактеризовано на разных частотах с использованием метода импульсной акустической голографии. Также была измерена эффективность электроакустического преобразования на разных частотах и определена частота, позволяющая создать наиболее равномерную структуру поля для увеличения облучаемого объема ткани.

25.01-01.172 Радиальная мода ультразвуковых технологических инструментов. Вьюгинова А.А., Новик А.А., Лбов А.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 82. Рус.

Ультразвуковые технологические системы, предназначенные для активного высокоинтенсивного воздействия на среду, позволяющие реализовывать разнообразие технологий, в том числе, ультразвуковую сварку полимерных материалов, ультразвуковую резку и некоторые другие, содержат ультразвуковой инструмент-волновод, работающий в продольной или радиальной моде. Как правило, продольная мода используется в ультразвуковом оборудовании прессового, вертикального типа, а радиальная — для реализации так называемой непрерывной обработки, при этом радиальная мода также позволяет достигать высоких амплитуд колебаний рабочей поверхности, необходимых для указанных технологий. В работе исследуются особенности частотных свойств ультразвуковых инструментов некоторых типов, работающих в радиальной моде, необходимые для их эффективного проектирования. Приведены результаты моделирования собственных частот и форм колебаний инструментов различной геометрии, проанализировано влияние геометрии на рабочие параметры.

25.01-01.173 Использование эффекта расталкивания мод для резонансной ультразвуковой диагностики слоистых материалов. Глушков Е.В., Глушкова Н.В., Еремин А.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 82-83. Рус.

В настоящее время в ультразвуковой (УЗ) диагностике бегущими волнами в качестве главного диагностического признака изменения (деградации) упругих свойств слоистых материалов или прочности межслойных соединений используется информация о дисперсионных свойствах бегущих волн. Действительно, при варьировании входных параметров вид теоретических дисперсионных кривых заметно меняется. Однако, из-за существенного различия реальной возбудимости различных мод, скалограммы суммарного волнового поля не показывают заметных изменений амплитудно-частотных характеристик при вариации свойств внутренних слоев. Они отличаются только разрывами, появляющимися в темных полосах, указывающих в скалограммах на основные поверхностные волны. Эти разрывы появляются в узких частотных диапазонах, в которых групповая скорость соответствующих бегущих волн резко падает. На этих частотах их амплитуды могут демонстрировать резкий рост, который проявляется в частотном спектре в виде резонансных пиков. Такие пики хорошо регистрируются при бесконтактных измерениях поверхностных волн средствами лазерной виброметрии, воздушно-связными УЗ преобразователями и т.п. Появление множественных резонансных пиков связано с характерными изгибами соседних дисперсионных кривых, возникающими при проявлении эффекта расталкивания мод. Расчеты и измерения показывают чувствительность зоны расталкивания, а как следствие и положения резонансных пиков в частотном спектре, от упругих свойств как самих слоистых материалов, так и прочности тонких соединительных (например,

клеевых) прослоек, что делает этот эффект перспективным диагностическим признаком.

25.01-01.174 Информативность импедансного метода ультразвукового контроля полимерных композиционных и резиноподобных материалов. *Винокуров Д.Л., Грудзинская И.С. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 83. Рус.

Проведены экспериментальные исследования образцов из полимерных композиционных и резиноподобных материалов импедансным методом ультразвукового контроля. В измерениях использовалась конструкция высокооборотной импеданс чувствительной системы на основе пьезокерамики. Исследовано влияние добротности акустической системы на информативность метода. Разработаны методики контроля для однородных сильно поглощающих материалов и материалов с сильной анизотропией свойств. Данное исследование позволяет существенно расширить область применения импедансного метода.

25.01-01.175 Ультразвуковые технологии изготовления электрофизической керамики. *Пукачев С.И., Рытов Е.Ю. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 83. Рус.

Ультразвуковые технологии позволяют оптимизировать ряд основных операций процесса изготовления изделий из электрофизической керамики, широко применяемой в современной науке и технике. В статье в качестве этих операций выбраны диспергирование керамических порошков, формообразование изделий из мелкодисперсных керамических порошков перед высокотемпературным обжигом, размерная обработка обожженных керамических образцов различной геометрической формы, нанесение на поверхность керамики металлических электродов. Основное внимание уделено ультразвуковым технологиям изготовления пьезокерамики, являющейся активным материалом приемников и излучателей звука (ультразвука), а также оксидно-цинковой керамики, составляющей основу варисторов — устройств защиты электросетей от грозовых и коммутационных перенапряжений. Показано, что производственная реализация ультразвуковых технологий обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик и надежности изделий из электрокерамики.

25.01-01.176 Ультразвуковая визуализация высоко разрешения процессов разрушения и трансформации микроструктуры в объеме углепластиков при механических нагрузках. *Морозов Е.С., Левин В.М. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 84. Рус.

Представлены результаты применения фокусированных сходящихся пучков высокочастотного ультразвука (50 и 100 МГц) с импульсной генерацией (20—40 нс) для визуализации и характеристики объемной микроструктуры углепластиков и их повреждений при растягивающих, ударных и изгибных нагрузках. Такие зондирующие импульсы обеспечивают высокое латеральное и аксиальное разрешение в объеме материалов. Задача по исследованию процессов формирования и развития повреждений в динамике, находится на стыке нескольких научных направлений — механики материалов и физики ультразвука. Для изучения и визуализации процессов разрушения углепластиков на микроуровне была разработана специализированная установка, состоящая из акустического микроскопа, сочлененного с машиной механического нагружения материалов, позволяющая изучать механизмы разрушения в объеме материалов

в динамике. Любые повреждения, возникающие в результате механических нагрузок, являются пустотами или разрывами, которые хорошо отражают и рассеивают ультразвуковые волны, отображаются на ультразвуковых изображениях. В результате исследований были найдены, визуализированы и описаны некоторые механизмы зарождения развития и роста повреждений при растягивающих нагрузках углепластиков. Показаны возможности акустической микроскопии для получения изображений с высоким разрешением повреждений в объеме углепластиков, таких как: расслоения, растрескивания матрицы и разрушения волокон. Послойная визуализация морфологии повреждений позволяет выявлять и наблюдать за вертикальными трещинами и формой фронтов расслоений на границах раздела.

25.01-01.177 Исследование красочных слоев картин методами акустооптики. *Поликарпова Н.В., Дьяконов Е.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 84. Рус.

Акустооптические фильтры — это специальные устройства, которые позволяют “вырезать” из светового луча свет определенной длины волны. По сравнению с другими методами спектрального анализа, акустооптические фильтры обладают преимуществом: они могут быстро перестраиваться на нужную длину волны за счет изменения управляющего сигнала. Кроме того, они могут работать с изображениями, что позволяет проводить мультиспектральную съемку — получать изображения объекта в разных диапазонах света. Мультиспектральная съемка находит широкое применение в разных сферах, например, в космосе, медицине, экологии и для проверки подлинности документов. Особенно интересна возможность исследования объектов в невидимом спектре, например, в инфракрасном или ультрафиолетовом диапазонах. Это позволяет увидеть детали, которые не видны невооруженным глазом. Например, можно обнаружить скрытые наброски под краской в картинах или прочитать выцветшие надписи на древних документах. Важно, что этот метод не требует физического воздействия на объект, что особенно ценно для исторических артефактов. В этой работе исследователи изучают возможность использования акустооптических технологий для мультиспектральной съемки в искусствоведении. Они создали модели, имитирующие рисунок под слоем краски, чтобы проверить, можно ли с помощью этого метода увидеть скрытые изображения.

25.01-01.178 Исследование ультразвукового кавитационного воздействия на межфазную поверхность газ—жидкость при принудительной аэрации. *Гольж Р.Н., Карра Ж.Б., Хмельёв В.Н., Маняжин И.А., Минаков В.Д., Генне Д.В., Барсуков А.Р. Прикладная механика и техническая физика.* 2024. 65, № 6, с. 83-98. Рус.

Разработан стенд для проведения экспериментальных исследований структуры, формы и размеров межфазной поверхности газ—жидкость при ультразвуковом воздействии и принудительной аэрации. Обнаружено, что ультразвуковое воздействие приводит к увеличению площади межфазной поверхности при аэрации приблизительно в 1,5 раза. Установлено существование оптимальной интенсивности ультразвукового воздействия, которая обеспечивает максимальный прирост площади межфазной поверхности на единицу подведенной ультразвуковой энергии.

См. также **25.01-01.29, 25.01-01.168, 25.01-01.169**

Акустика океана, гидроакустика

25.01-01.179 Интегрированная навигационная система для морской 3D сейсморазведки с использованием буксируемых сейсмоков. *Максимов Г.А., Корольков З.А., Коновалов В.Н., Ларичев В.А., Лесонен Д.Н., Смирнов В.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 5. Рус.

При разведке, обустройстве и эксплуатации шельфовых месторождений широко применяются сейсмоакустические исследования, в настоящее время не имеющие альтернативы по точ-

ности 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. Представлена информация о разрабатываемой в АО “АКИН” интегрированной навигационной системы “Инавсис”, а также о комплексе акустического оборудования, применяемого для позиционирования и управления системой наблюдения в виде параллельно буксируемых сейсмоков, которая используется в морских 3D сейсмических работах на шельфе.

25.01-01.180 Голографический метод обработки высокочастотных гидроакустических сигналов в мелком море (теория и эксперимент). *Переселков С.А., Кузькин В.М., Матвиенко Ю.В., Ткаченко С.А., Косенко И.М. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 5-6. Рус.*

Разработан метод голографической обработки сигналов для одного векторно-скалярного приёмника в высокочастотном диапазоне в мелком море. Цель данной статьи — представить результаты теоретического анализа, численного моделирования и экспериментальной проверки голографической обработки сигналов с использованием векторно-скалярного приёмника для источника шума. Разработанный метод основан на формировании 2D-интерферограмм и 2D-голограмм источника шума в мелководном волноводе. В работе рассмотрены 2D-интерферограммы и 2D-голограммы для различных каналов векторно-скалярного приёмника: звукового давления P и колебательной скорости V_x и V_y . Показано, что 2D-интерферограмма для сигналов векторно-скалярного приёмника представляет собой совокупность квазипараллельных интерференционных полос, соответствующих интерференционным минимумам и максимумам звукового поля. При движении источника шума интерференционные полосы наклоняются в зависимости от направления движения источника. В результате 2D-голограмма содержит фокальные пятна, расположенные на прямой линии, а угловое распределение голограммы имеет ярко выраженное экстремальное значение. В статье показано, что голографическая обработка сигналов векторно-скалярного приёмника позволяет обнаруживать источник, оценивать пеленг источника и отфильтровывать полезный сигнал от шума акватории, увеличивая выходное отношение сигнал/шум. Результаты обнаружения источника, оценки направления источника и фильтрации шума представлены в рамках обработки экспериментальных данных и численного моделирования. В работе представлены результаты высокочастотного эксперимента по обнаружению и определению пеленга малогабаритного шумового подводного источника звука — автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА). Эксперимент проводился в мелководной акватории. Прием шумозвучения источника осуществлялся тремя одиночными векторно-скалярными приёмниками, расположенными на дне. С применением голографической обработки выполнены обнаружение и определение пеленга движущегося подводного источника.

25.01-01.181 Флуктуации звука, вызванные движением солитонов внутренних волн в эксперименте ASIAEX. *Григорьев В.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 6. Рус.*

Рассматривается один из эпизодов эксперимента ASIAEX 2001 (Южно-Китайское море), в котором на стационарной акустической трассе длиной 32 км в течение 6 часов двигался солитон внутренних волн и наблюдались связанные с этим флуктуации интенсивности низкочастотного (224 Гц) звука. По мере движения солитона вдоль трассы монотонно менялись глубина моря (от 350 до 120 м), скорость солитона (от 2 до 1 м/с) и его амплитуда (от 120 до 55 м), но доминирующая частота флуктуаций оставалась приблизительно постоянной и равной 1.5 ц/ч. В работе анализируются причины данного явления. Для этого солитон рассматривается в рамках двухслойной модели водной среды, а распространение звука — в рамках модовой и лучевой теорий. Согласно лучевой теории, доминирующая частота флуктуаций определяется отношением скорости солитона к циклу луча, ответственному за доминирующие флуктуации. В модовой теории получено аналогичное выражение, где роль цикла луча играет комбинация пространственных периодов биения нескольких пар мод. Показано, что при изменении глубины моря скорость солитона и цикл луча изменяются практически пропорционально, в результате чего доминирующая частота флуктуаций остается постоянной. Описанное явление может

иметь универсальный характер и не ограничиваться акваторией ASIAEX. Постоянство доминирующей частоты позволяет определить переменную скорость солитона как функцию времени или расстояния, что успешно продемонстрировано в работе и может быть использовано для акустического мониторинга солитонов.

25.01-01.182 Модовая структура широкополосного звукового поля в неоднородных мелководных волноводах. *Луньков А.А., Григорьев В.А., Сидоров Д.Д., Шершенева М.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 6-7. Рус.*

Рассмотрена модовая структура низкочастотного звукового поля в широкой полосе частот в волноводах с сосредоточенными и распределенными неоднородностями. Под сосредоточенными понимаются неоднородности, вызывающие взаимодействие мод, под распределенными — адиабатические изменения. В приближении однократного рассеяния получено аналитическое выражение, описывающее частотную зависимость амплитуды первой волноводной моды в таких волноводах. Оно представляет собой суперпозицию плавной функции, обусловленной частотной зависимостью коэффициента затухания моды и адиабатическими возмущениями, и набора осциллирующих функций частоты. Каждая осциллирующая функция отвечает взаимодействию конкретной пары мод (первой моды со второй, третьей и т.д.) на одной сосредоточенной неоднородности. Важно, что период осцилляций в частотной области оказывается обратно пропорциональным расстоянию от источника звука до неоднородности. Проведено прямое численное моделирование широкополосных звуковых полей в волноводах с различными возмущениями: локально поднятие дна, солитон внутренних волн, ледовый киль, водоподобный участок дна, искусственный объект, которое продемонстрировало осциллирующий характер модовых амплитуд после прохождения неоднородной области. Предложен метод оценки положения сосредоточенных неоднородностей на акустической трассе по периоду осцилляций, основанный на кепстральной обработке амплитуды первой моды с предварительной деформацией частотной оси. Проведен анализ помехоустойчивости предлагаемого метода и возможности его реализации с помощью одиночных приёмников и развитых вертикальных антенн.

25.01-01.183 Формирование акустических полей локальными и распределенными источниками шума в мелком море с неоднородным дном. *Сидоров Д.Д., Бодяжона С.Д., Луньков А.А., Петников В.Г. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 7. Рус.*

В рамках численных экспериментов изучены характеристики акустических полей, создаваемых как распределенными, так и локальными приповерхностными шумовыми источниками в мелководных акваториях с трехмерно неоднородной структурой дна, включающей водоподобные области. Предполагалось, что источники первого типа связаны с шумами ветрового волнения, источник второго типа — с шумом судна. Условия распространения звука соответствовали одному из районов Карского моря со средней глубиной около 30 м. Методом широкоугольного параболического уравнения проведены модельные статистические оценки следующих характеристик шума ветрового волнения и их пространственной изменчивости: вертикальное распределение интенсивности, модовый состав, направленность в вертикальной и горизонтальной плоскости. Для шума судна получены зависимости от расстояния и азимутального угла в различных точках акватории. Показано, что шумовое поле судна является гораздо более чувствительным к неоднородностям дна, чем шум ветрового волнения, что наиболее ярко проявляется в области водоподобных осадков. Обнаружено, что на низких частотах (ниже 100 Гц) уровень шума судна, фиксируемый на некотором расстоянии, линейно зависит от протяженности водоподобной области. Предложена методика локализации и оценки протяженности водоподобных участков дна по шуму движущегося судна, записываемого на стационарную вертикальную антенну.

25.01-01.184 Модовая структура в волноводе Пекериса—Эйри и его обобщениях. *Петров П.С., Захаренко А.Д., Гудименко А.И., Заворожин Г.Л., Мацковский А.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 7.*

Рис.

Рассматривается распространение звука в мелком море, верхний слой дна в котором представляет собой среду Эйри, т.е. характеризуется линейно возрастающим с глубиной квадратом показателя преломления. Обсуждается зависимость коэффициента отражения от такого дна от угла скольжения луча для различных частот. Исследована модовая структура в таком волноводе, предложен эффективный метод интегрирования дисперсионных уравнений, а также рассмотрена возможность применения данного метода при решении задач геоакустической инверсии. Также обсуждается формирование головной волны интерференционного типа в таком волноводе, также известной как головная волна Буддырева.

25.01-01.185 Структура простого вихря акустической интенсивности. *Щуров В.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 8. Рус.

Фазовый сдвиг, вызванный дислокацией фазового фронта, составляет величину $\pm 2\pi n$, где n — целое число. При $n=1$ вихрь, возникающий в когерентном акустическом поле, называем простым. Исследуется структура простого вихря движущегося источника на частоте 88 Гц в мелком море. Экспериментально показано, вихрь возникает при росте интенсивности когерентного поля и является механизмом передачи акустической энергии между двумя областями когерентного поля, причем плотность потенциальной энергии на выходе вихря выше, чем плотность на его входе. Внутри вихря результирующий волновой фронт обращается вокруг центра. В области между центром и седлом движение энергии направлено на источник. Замкнутых линий тока энергии внутри вихря нет. Топологическая устойчивость вихря основана на вращательном моменте импульса, возникающим в результате вращения вектора колебательной скорости частиц среды.

25.01-01.186 Измерения воздушного, гидро и сейсмоакустического шума при движении судна на воздушной подушке по реке Урал в летних и зимних условиях. *Веденев А.И., Кочетов О.Ю., Луньков А.А., Шуруп А.С., Дмитриев К.В., Преснов Д.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 8. Рус.

Представлены результаты измерения характеристик воздушного, подводного и сейсмического шума судна на воздушной подушке (СВП) «Каспиан Фалькон» в русле реки Урал. Измерения проводились в период гнездования птиц и хода рыб на нерест весной, в летний период и период зимовки рыб в рыбозимовальных ямах подо льдом. Измерения проводились в экологически чувствительной зоне с обширной орнито- и ихтиофауной в дельте р. Урал. Отличительной особенностью исследований подводного шума было использование приемника колебательной скорости (ПКС) градиентного типа разработки ИОРАН, а также сейсмометров для записи вибраций и сейсмического шума. Необходимость оценки колебательной скорости и вибраций определяется тем, что слух значительной части рыб воспринимает звук не по давлению, а по колебанию частиц среды. Измерения показали, что в весенне-летний период уровни подводного шума СВП заметно ниже, а воздушного существенно выше уровней шума судов с традиционными движителями. В ледовых условиях зарегистрированы вибрации на льду и дне, а также заметный уровень гидроакустического шума из-за растрескивания льда под СВП. Для смягчения воздействия шума СВП на ихтиофауну рекомендован обход рыбозимовальных ям путем частичного смещения трассы СВП на берег вблизи мест зимовки рыб. Также даны рекомендации по оптимальной скорости движения СВП в окрестности мест гнездования птиц.

25.01-01.187 Сравнительный анализ характеристик сигналов, зарегистрированных с использованием векторного приемника и гидрофонов давления на мелководье. *Горовой С.В. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 8-9. Рус.

Описаны результаты сравнительного анализа характеристик низкочастотных гидроакустических шумовых сигналов, одновременно зарегистрированных в прибрежной морской акватории с использованием размещенных вблизи дна ненаправленных приемников и комбинированного приемника, в состав которого входят трехкомпонентный приемник градиента давле-

ния инерционного (соколеблющегося) типа и гидрофон давления. Глубина места в районе исследований составляет 6 м, донный грунт — ил, песок. Приведены результаты оценивания динамики изменения со временем взаимных корреляционных функций, огибающих и гистограмм мгновенных значений зарегистрированных сигналов, в том числе при проходе моторной лодки.

25.01-01.188 Велосиметр для системы акустического позиционирования буксируемых сейсмокос. *Ларичев В.А., Максимов Г.А., Вселенский А.А., Лесонен Д.Н. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 9. Рус.

В морской сейсморазведке 3D на шельфе с использованием параллельно буксируемых сейсмокос (сейсмоакустических антенн) необходимым элементом является система акустического позиционирования этих сейсмокос. Она состоит из навесных акустических транспондеров, установленных вдоль сейсмокос, а также их транспондеров, установленных на судне, на начальных и концевых буйах, которые, в свою очередь, позиционируются с помощью антенн ГНСС. Акустические измерения совоккупности дистанций между узлами сети транспондеров, с привязкой отдельных узлов сети к их пространственному положению позволяют восстановить текущее пространственное положение всех датчиков буксируемых сейсмокос, и тем самым сформировать систему наблюдений. Однако для определения дистанций между транспондерами по задержкам приходов акустических сигналов должна быть известна с необходимой точностью скорость звука в среде распространения, которая в реальных морских условиях обладает существенной изменчивостью. В этой связи в комплект системы акустического позиционирования буксируемых сейсмокос должны быть включены измерители скорости звука (велосиметры), специально разработанные для таких условий применения. Представлена информация о характеристиках велосиметра, разработанного в АО «АКИН» для системы акустического позиционирования буксируемых сейсмокос, и результатах его тестирования.

25.01-01.189 Гидроакустическая система навигации судов в акватории порта. *Смирнов В.А., Максимов Г.А., Григорьев А.Г., Корольков З.А., Коновалов В.Н., Ларичев В.А., Лесонен Д.Н. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 9. Рус.

В АО «АКИН» разработана система гидроакустического позиционирования судов в акватории порта, которая является дублирующей в дополнение к системам спутниковой, радио- и видео-навигации. Система позиционирования состоит из маяков-ответчиков, устанавливаемых на дне акватории, двух судовых антенн, а также судового блока с системой сбора, обработки данных и позиционирования. Работа системы протестирована в акватории порта г. Новороссийск в ходе опытной эксплуатации оборудования в период с июня по декабрь 2023 г. Показано, что полученная точность позиционирования с остаточной невязкой порядка 1 м является достаточной для дублирующей системы гидроакустического позиционирования судов при заходе в порт. Данные позиционирования судна (положение, курс, скорость, эллипс ошибок и пр.) передаются в судовую навигационную систему.

25.01-01.190 Автономный многочастотный измеритель обратного акустического рассеяния для исследования звукорассеивающих слоев в морской среде. *Соловьев В.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 10. Рус.

Описывается архитектура нового прибора Aquasound для регистрации обратного акустического рассеяния в водных слоях до глубины 300 м на высоких частотах от 300 кГц до 4 МГц. Приводятся результаты его испытаний, сравниваются данные по обратному акустическому рассеянию с термомалиной структурой. Исследование звукорассеивающих слоев методом регистрации высокочастотного обратного акустического рассеяния позволяет исследовать поведение мелких морских организмов, концентрацию твердых взвесей, мелкомасштабную изменчивость морской среды. Aquasound является универсальным прибором с возможностью программирования размера измерительной ячейки и частоты импульсов в широких пределах. Прибор позволяет излучать ультразвуковые импульсы различных частот в воду и записывать амплитуду отраженного сигнала.

ла. Функциональная схема Aquasound содержит микроконтроллерный блок управления с АЦП, генератор сигналов, передатчик, коммутатор и блоки согласования сопротивлений преобразователей, пьезоэлектрические преобразователи (трансдюсеры), приемник, детектор. Испытания прибора были проведены в октябре 2022 и 2023 годов в Южном отделении ИО РАН г. Геленджик. Регистрация сигнала производилась Aquasound на частотах 410 кГц и 2 МГц и с помощью прибора Nortek Aquadopp на частоте 2 МГц. По результатам зондирования до глубины 200 м установлено, что Aquasound получал резкое увеличение амплитуды сигнала на двух частотах на глубине соответствующей изопикне 15.6. На этой изопикне регистрируется слой увеличенной концентрации зоопланктона в дневное время. Сигнал с частотой 2 МГц, полученный Aquasound, коррелирует с сигналом Nortek Aquadopp.

25.01-01.191 Сравнение формул расчета глубины по давлению и широте. Львов К.П., Цыбин В.С. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 10. Рус.

Рассмотрены формулы Международного состояния морской воды TEOS-10 (2009 г.), UNESCO (1983 г.), (1981 г.), Lego (1968, 1998, 2007 гг.). Выводы. Результаты сравнения для мелководья с учетом точности датчиков давления, свидетельствуют, что практически расчеты по разным формулам дают равные результаты.

25.01-01.192 Направленность придонного шума океана. Клячин Б.И. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 11. Рус.

Низкочастотный шум океана собирается с большой акватории. Его свойства зависят от большого числа особенностей этой акватории. Тем не менее, приповерхностный шум, более всего зависит от особенностей поверхности океана, шум в подводном звуковом канале — от параметров канала. Придонный шум более всего зависит от дна. При этом если первые два (приповерхностный и шум канала) удостоились многолетним и многочисленным исследованиям, — придонный шум почти не обсуждался в научной литературе. Приводятся расчеты направленности придонного шума в большом частотном диапазоне для двух районов глубокого океана. Обсуждаемые направленности сильно зависят от частоты и имеют три характерные особенности. При высоких частотах максимумы направленности вертикальны. При низких частотах максимумы горизонтальны. На средних частотах — максимумы близки направлениям угла полного внутреннего отражения от дна (такое отражение может быть в случае дна без затухания. Но в данной работе рассматривается дно с затуханием.). Подобные качественные особенности придонных шумов наблюдаются и в мелком море. (Естественно, при переходе от глубокого моря к мелкому, частоты, при которых имеют максимумы изменяются.) В наших расчетах — скорость звука в дне больше, чем в океане. Но приводятся и оценки для случая, когда скорость звука в дне меньше, чем в океане.

25.01-01.193 Оценка коэффициента отражения звука от дна по изменениям пространственно-угловой структуры поля в волноводе с дистанцией. Вировлянский А.Л., Казарова А.Ю. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 11. Рус.

Обсуждается метод оценки коэффициента отражения звука от дна подводного волновода по данным измерений поля источника, движущегося в горизонтальном направлении, с помощью неподвижной вертикальной антенны. Для анализа пространственно-угловой структуры регистрируемого антенной поля применяется заимствованный из квантовой теории метод когерентных состояний. Разложение по когерентным состояниям устанавливает связь между лучевым и волновым представлениями поля в волноводе. Оно задает распределение комплексной амплитуды поля тонального источника в плоскости глубина—угол и поля импульсного источника в пространстве глубина—угол—время. Использование данного разложения позволяет построить фильтр для выделения компоненты поля, представляющей вклад заданного узкого пучка лучей. Отношение амплитуд такой компоненты поля до и после отражения от дна дает искомую оценку коэффициента отражения. Эффективность этого подхода протестирована на данных численного

моделирования. Приведены результаты его применения для обработки данных озерного эксперимента.

25.01-01.194 Когерентность и эффективность пространственной обработки низкочастотных акустических сигналов в мелком море с флуктуирующими параметрами. Раевский М.А., Бурдуковская В.Г. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 11-12. Рус.

Исследуется совместное влияние случайных внутренних волн и развитого ветрового волнения на когерентность и эффективность пространственной обработки узкополосных акустических сигналов в мелком море. Предложена теоретическая модель для корреляционной матрицы многодорожкового сигнала на апертуре горизонтальной антенной решетки (АР), использующая различие пространственно-временных масштабов флуктуаций акустического поля, обусловленных ветровыми и внутренними волнами. Приведены результаты численного моделирования для волновода летнего типа, закрытого к поверхности. Коэффициент усиления антенны анализируется для трех методов пространственной обработки: метода ФАР, метода оптимальной линейной обработки и метода оптимальной квадратичной обработки. Основное внимание уделяется зависимости коэффициента усиления АР от интенсивности ветрового волнения и расстояния R между источником и антенной. Показано, что несмотря на гидрологию летнего типа, ветровое волнение может оказывать существенное влияние на коэффициент усиления горизонтальной антенны в широком диапазоне расстояний $R \sim 10-100$ км. Полученные для горизонтального масштаба корреляции акустического поля результаты соответствуют универсальному значению 30λ , предложенному Carey при обобщении экспериментальных данных в мелком море.

25.01-01.195 Об оценках точности определения расстояния при подводной акустической навигации в Карском море. Назаренко Ю.В., Сидоров Д.Д., Петников В.Г., Писарев С.В., Луньков А.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 12-13. Рус.

На основе гидрологических данных океанологической базы "World Ocean Database" получены оценки точности определения расстояния между подводными источником и приемником звука на расстояниях до 5 км в мелководной части Карского моря. Предполагалось, что основной причиной погрешностей в измерениях дистанции является отсутствие точных данных о пространственно-временном распределении вертикального профиля скорости звука. Анализировались ситуации, характерные для начала и конца осени, когда в первом случае наблюдается ярко выраженный термоклин и открытая поверхность воды, а во втором случае температура воды практически не изменяется по глубине и морская поверхность покрыта льдом. Установлено, что в обоих случаях существуют заметные флуктуации скорости звука в приповерхностном перемешанном слое, однако физические причины подобных вариаций разные. Моделирование распространения акустических волн показало, что различия во времени распространения звуковых сигналов δt для указанных выше случаев невелики. Однако имеет место уменьшение величины δt (почти на порядок) при расположении источника и приемника вблизи дна. При таком расположении точность оценки расстояния максимальна.

25.01-01.196 Сравнительный анализ методов пространственной обработки акустических сигналов в мелком море в условиях априорной неопределенности канала распространения. 1. Сценарий приема когерентных сигналов. Малезанов А.И., Смирнов А.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 13. Рус.

Обсуждаются результаты численного моделирования эффективности ряда методов пространственной обработки сигналов, принимаемых вертикальной антенной решеткой в канале мелкого моря, в предположении, что параметры канала известны не точно, но с некоторым уровнем неопределенности. Цель работы — получение количественных оценок потерь эффективности в таких условиях, которые ожидаемо оказываются существенно различными для разных методов обработки. Моделирование выполнено в рамках модового формализма описания сигналов отдельных источников в сезонных каналах, типичных для Баренцева моря, в предположении, что сигналы являются

полностью когерентными (детерминированными), что отвечает диапазону низких частот и не слишком большим дистанциям (~10 км).

25.01-01.197 Сравнительный анализ методов пространственной обработки акустических сигналов в мелком море в условиях априорной неопределенности канала распространения. 2. Сценарий приема частично когерентных сигналов. Малеханов А.И., Смирнов А.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 13. Рус.

Проводится сравнительный анализ устойчивости методов пространственной обработки частично-когерентных многомодовых сигналов удаленных источников к априори неточному знанию параметров подводного звукового канала. Численное моделирование выполнено для случая вертикального положения антенной решетки в сезонных (летнем и зимнем) каналах Баренцева моря в предположении, что полезный сигнал является частично-когерентным в результате ослабления взаимных корреляций модовых амплитуд и принимается на фоне интенсивного морского шума ветрового происхождения. Рассматривается ряд известных методов пространственной обработки, в различной степени учитывающих специфику данного сценария приема сигналов, включая метод оптимальной обработки частично-когерентных сигналов. Показано, что, в отличие от сценария приема полностью когерентных многомодовых сигналов, потери усиления (антенного выигрыша) в результате рассогласования численной модели с реальным каналом имеют меньшие величины, что ослабляет требования к точности априорной информации относительно параметров канала.

25.01-01.198 Влияние случайных вариаций параметров неоднородного океанического волновода на гидроакустическое поле, возбуждаемое вертикальной решеткой узкополосных излучателей. Малеханов А.И., Лисин А.А., Хилько А.И. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 14. Рус.

Разработка акустических систем подводного наблюдения требует учета влияющих на эффективность их работы факторов: геофизические параметры среды распространения звука, статистика изменений гидросферы и атмосферы. Параметры среды варьируются от времени года, течений, ветровых явлений и иных факторов, влияющих на температуру и соленость слоев водной толщи. Учет указанных факторов позволяет выбрать оптимальные параметры системы. Основным критерием качества системы наблюдения служит обычно обеспечиваемое в ней отношение “полезный сигнал/шум”, повышение которого является главной задачей оптимизации. Учет факторов в реальном времени не всегда возможен, поэтому влияние отклонений параметров среды от условий, для которых подобраны оптимальные параметры системы, представляет интерес. В работе рассмотрено влияние изменения условий распространения акустического сигнала как случайные вариации профиля скорости звука относительно эталонного в рамках заданного рукава минимально и максимально возможных скоростей звука. Влияние оценивалось по отклонению положения точки фокусировки антенной решетки узкополосных излучателей с фиксированными параметрами оптимизации, примененными к случайным вариациям профиля скорости звука.

25.01-01.199 Исследование структуры акустического поля на основе гидроакустического эксперимента в Японском море. Шкрамада С.С., Моргунов Ю.Н., Буренин А.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 14. Рус.

В августе 2023 года был проведен тестовый гидроакустический эксперимент для обоснования применимости способа позиционирования подводных объектов при их функционировании на глубинах, существенно превышающих глубину оси подводного звукового канала (ПЗК). Приводятся результаты экспериментальных исследований и численного анализа распространения акустической энергии на шельфе и переходе ее в глубоководные (до 1000 м) слои Японского моря для летне-осенних гидрологических условий. Эксперимент по приему широкополосных импульсных сигналов с центральной частотой 400 Гц проводился на удалении 141 км от источника навигационных сигналов (ИНС), свешенного с борта судна при глубине 42 м у побережья вблизи мыса Лихачева (залив Петра Великого).

Для приема сигнальной информации была использована система с распределенными по глубине гидрофонами, с возможностью длительной регистрации сигналов на фиксированных глубинах или в процессе погружения. Результаты эксперимента позволили исследовать импульсные характеристики акустического волновода, рассчитать эффективную скорость распространения навигационных сигналов, принимаемых на различных глубинах, а также сделать выводы о возможности решения задач позиционирования автономных подводных аппаратов (АПА) на глубинах до 1000 метров и при удалении от ИНС до 141 км. Выполнено математическое моделирование распространения акустических сигналов в модельном волноводе, воспроизводящем условия эксперимента.

25.01-01.200 Применение голографической обработки для разрешения сигналов в нерегулярном океаническом волноводе. Переселков С.А., Кузькин В.М., Ткаченко С.А., Косенко И.М. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 15. Рус.

Рассмотрена возможность применения метода голографической обработки для разрешения шумовых сигналов различной интенсивности на фоне изотропной помехи в океаническом волноводе. Предложенный метод основан на двукратном преобразовании Фурье интерферограммы, формируемой движущимся источником шума. Представлены результаты численного эксперимента по разрешению нескольких шумовых сигналов на фоне изотропной помехи. Вычислительный эксперимент выполнен с использованием голографического метода локализации источника и одиночного приемника. Выполнен сравнительный анализ точности определения координат источника, включая пеленг, радиальную скорость, удаленность и глубину. Разрешающая способность рассматривается как возможность отдельного обнаружения и идентификации каждого источника. В качестве критерия разрешающей способности принимается точность, с которой определяются координаты каждого источника на фоне других источников и помехи. В работе описана голографическая обработка шумовых сигналов нескольких источников в условиях пространственно-временной нестабильности океанической среды. Представлен алгоритм, позволяющий восстанавливать неискаженные сигналы на фоне неоднородностей среды. Обсуждена ширина фокусировки спектральной плотности сигналов на голограмме. Сформулирован критерий разрешающей способности, который позволяет разделять сигналы с помощью одиночного приемника и линейной антенны. Приведены результаты численного моделирования разрешения нескольких сигналов на фоне интенсивных внутренних волн, вызывающих взаимодействие мод и горизонтальную рефракцию звуковых полей источников.

25.01-01.201 Метод групповой навигации необитаемых подводных аппаратов с лидером. Щербатюк А.Ф., Переселков С.А., Кузькин В.М., Ладыхин Н.В., Ткаченко С.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 15. Рус.

В настоящее время для выполнения задач, связанных с подводными миссиями, большое значение придается использованию групп автономных необитаемых подводных аппаратов. Ценность информации, получаемой такой группой, значительно зависит от точности их навигационной привязки. Традиционные подходы к навигации единичного автономного необитаемого подводного аппарата не обеспечивают оперативную навигацию для группы таких аппаратов. В работе описан один из приоритетных способов навигационного обеспечения группы специализированных подводных аппаратов. Он основан на использовании в группе одного автономного необитаемого подводного аппарата-лидера с высокоточными средствами навигации для определения местоположения, угловой ориентации, скорости и глубины. Группа автономных необитаемых подводных аппаратов выполняет общую миссию в мелководной акватории. Деятельность всех аппаратов синхронизирована и предполагает информационное взаимодействие между ними. Определение координат каждого аппарата основывается на измерении дальностей между ними и аппаратом-лидером. Рассмотрен алгоритм оценки местоположения отдельных аппаратов. Приведены результаты численного моделирования, подтверждающие работоспособность и требуемую точность рассмотренного алгоритма.

25.01-01.202 Об аналитическом представлении рефракционного члена скорости звука в Черном море. Папкова Ю.И., Папкова А.С., Шукало Д.М. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 16. Рус.

Акустические свойства морской среды во многом определяются неоднородным рефракционным членом профиля скорости звука. Для численного моделирования звуковых полей в морской среде (лучевой метод, метод конечных элементов, метод конечных разностей и др.) достаточно знать данную величину в некоторой системе узловых точек, в то время как для модового анализа существенным является ее аналитическое описание. Аппроксимация профиля скорости звука функциями, с помощью которых строится аналитическое решение уравнения Гельмгольца, является одной из необходимых процедур при решении прямых и обратных задачах распространения звука в морской среде. Как известно, точные значения скорости звука можно получить по измеренным данным входных параметров, в качестве которых в уравнениях скорости звука для морской воды в основном используется температура *in situ*, глубина измерений и соленность. В представленной работе получен и проанализирован массив данных входных параметров в акватории г. Севастополя с 2015 по 2022 гг. По измеренным значениям параметров рассчитываются соответствующие им значения скорости звука с помощью известных формул. Полученный массив данных для скорости звука анализируется и аппроксимируется отрезками кривых, допускающих аналитическое решение вертикального волнового уравнения в гипергеометрических функциях. Таким образом, найдены формулы для профилей скорости звука в акватории г. Севастополя в зависимости от сезонной изменчивости, позволяющие получить аналитические решения уравнения Гельмгольца.

Акустика мелкого моря

25.01-01.203 Интегральные представления решения в задаче о наклонном падении поверхностной волны на прямолинейный берег прибрежного водного клина. Лялинов М.А., Полянская С.В. Прикл. мат. и мех. 2024. 88, № 3, с. 406-421. Рус.

В линейном приближении гравитационных поверхностных волн малой амплитуды предложены новые интегральные представления для решения классической задачи о набегании из бесконечности поверхностной волны на берег под углом к береговой линии. Задача ставится для гармонического потенциала скорости жидкости в трехмерном водном клине с краевым условием Робена—Стеклова на свободной поверхности водного клина и условием отсутствия потока по нормали через дно. Эти интегральные представления имеют вид интеграла Зоммерфельда—Малюжинца и Ватсона—Бесселя. Подынтегральные выражения вычислены в замкнутом виде на основе решения функционально-разностных уравнений. Установлена связь между полученными представлениями. Приведены критические замечания по поводу известного в литературе решения, имеющего "нефизическую" сингулярность логарифмического типа на береговой линии. Построена асимптотика по расстоянию от берега полученного решения, ограниченного на береговой линии. Вычислен коэффициент отражения волны, уходящей от берега.

Взаимодействие звука с внутренними волнами и течениями

25.01-01.204 Флуктуации интенсивности звука, вызванные движением солитона внутренних волн в эксперименте ASIAEX. Григорьев В.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 6, с. 844-864. Рус.

Рассматривается один из эпизодов эксперимента ASIAEX 2001 (Южно-Китайское море), в котором вдоль двух стационарных акустических трасс длиной 32 и 19 км двигался крупный солитон внутренних волн, и наблюдались связанные с этим флуктуации интенсивности низкочастотного звука (224 и 300 Гц). В ходе исследования было обнаружено явление постоянства доминирующей частоты флуктуаций с течением времени. Например, при шестичасовом движении солитона вдоль длин-

ной трассы, где глубина моря изменялась в три раза (с 350 до 120 м), а скорость солитона — в два раза (с 2 до 1 м/с), доминирующая частота флуктуаций оставалась приблизительно постоянной и равной 1.5 ц/ч с точностью 10%. В работе анализируются причины данного явления. Для этого солитон рассматривается в рамках двухслойной модели водной среды, а распространение звука — в рамках модовой и лучевой теорий. Согласно лучевой теории, доминирующая частота флуктуаций определяется отношением скорости солитона к циклу луча, ответственному за доминирующие флуктуации. В модовой теории получено аналогичное выражение, где роль цикла луча играет комбинация пространственных периодов биения нескольких пар мод. Показано, что при изменении глубины моря скорость солитона и цикл луча изменяются практически пропорционально, в результате чего доминирующая частота флуктуаций остается постоянной. Описанное явление может иметь универсальный характер и не ограничиваться акваторией ASIAEX. Постоянство доминирующей частоты позволяет, в частности, определить переменную скорость солитона как функцию времени или расстояния, что успешно продемонстрировано в работе и может быть использовано для акустического мониторинга солитонов.

Излучение колеблющихся под водой объектов, импеданс

25.01-01.205 Физическое моделирование гидроакустического поля гребного винта. Стуленков А.В., Артельный В.В., Коротин П.И., Суворов А.С., Горбунцов И.Е., Норкин М.С., Зайцева С.Г. Акустический журнал. 2024. 70, № 5, с. 747-756. Рус.

Представлено исследование акустического поля винта, особенностью которого является учет влияния его упругих резонансов. В основе исследований лежит расчетно-экспериментальный подход, базирующийся на совместном использовании численного и экспериментального физического моделирования. В работе продемонстрировано, что методы физического и численного моделирования, являющиеся составными частями подхода, обеспечивают высокую точность определения резонансных частот в воздухе и в воде. С использованием разработанного подхода обоснована важность учета упругих резонансов гребного винта при проектировании объектов морской техники. На примере двух моделей винта, изготовленных из разных материалов, экспериментально продемонстрировано влияние добротности на уровни и вид спектра излучения.

Подводные приложения нелинейной акустики, взрывы

См. 25.01-01.36

Акустика морских осадков, ледяного покрова, подводная сейсмоакустика

25.01-01.206 Фазовая структура волновых возмущений, возбуждаемых пульсирующим источником на поверхности раздела потока жидкости конечной глубины и ледяного покрова. Булатов В.В., Владимиров И.Ю. Прикл. мат. и мех. 2024. 88, № 3, с. 392-405. Рус.

Плавающий ледяной покров определяет динамическое взаимодействие между океаном и атмосферой, влияет на динамику морской поверхности и подповерхностных вод, так как в общем движении по вертикали участвует ледяной покров и вся масса жидкости под ним. В работе исследована фазовая структура волновых полей, возникающих на границе раздела льда и потока однородной жидкости конечной толщины при обтекании локализованного пульсирующего источника возмущений. Ледяной покров моделируется тонкой упругой пластиной, деформации которой малы, и пластина является физически линейной. Получено интегральное представление решения, приведены результаты расчетов дисперсионных зависимостей и фазовых картин для различных параметров волновой генерации. Показано, что основными параметрами, определяющими характеристики амплитудно-фазовых структур волновых возмущений поверхности ледяного покрова, являются толщина

льда, скорость потока, частота пульсаций. Численные расчеты демонстрируют, что при изменении скоростей потока, толщины льда и частоты происходит заметная качественная перестройка фазовых картин возбуждаемых дальних волновых полей на границе раздела льда и жидкости.

25.01-01.207 Изучение реологических моделей льда на основе численного моделирования низкоскоростного удара шаровым индентором. Гусева Е.К., Голубев В.И., Епифанов В.П., Петров И.Б. Прикладная механика и техническая физика. 2024. 65, № 6, с. 181-194. Рус.

Разработана методика выбора подходящей модели льда и ее параметров методами численного моделирования. Исследуется процесс низкоскоростного столкновения шарового индентора с ледяной пластиной, проводится сравнение результатов численных расчетов с результатами лабораторного эксперимента. Рассмотрены известные реологические модели упругопластичности с критериями текучести Мизеса и Мизеса—Шлейхера, а также модель упругости с упругопластическим включением постоянного размера. В качестве определяющей системы уравнений используется система уравнений изотропной линейной теории упругости, которая решается сеточно-характеристическим методом. Исследуется влияние параметров моделей на рассчитанные мгновенные значения скорости и координаты шара. Формулируются критерии выбора характеристик моделей, строятся аппроксимации зависимостей этих критериев от различных параметров.

Подводные шумы, механизмы генерации и характеристики полей

25.01-01.208 Анализ международного опыта оценки экологического риска воздействия техногенного подводного шума на морские экосистемы. Маляренко Н.Л. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024, № 1(407), с. 107-116. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом является воздействие техногенного подводного шума на морские экосистемы. В работе продолжена тема формирования научных основ управления подводным шумовым загрязнением морских акваторий на базе методологии применения риск-ориентированного подхода к решению задач экологической безопасности. Цели статьи: аналитический обзор методологических подходов к исследованию воздействия техногенного подводного шума на морские экосистемы; ознакомление с приемами картирования морских акваторий по степени их уязвимости к рассматриваемому воздействию; рассмотрение методических основ количественной оценки экологического риска подводного шумового загрязнения морей с помощью индикаторов. Материалы и методы. Использованы методические материалы, разработанные в Крыловском центре, отечественные и зарубежные публикации в рассматриваемой области. Применялись методы системного анализа, картографический метод исследования, методы расчета показателей совокупного воздействия подводного шума на морские экосистемы и количественной оценки риска воздействия шума с использованием индикаторов. Основные результаты. Отражены современные подходы к управлению морскими экосистемами с применением инструментов экологического риск-менеджмента. Рассмотрены методы построения карт уязвимости морских экосистем к воздействию техногенного подводного шума и количественной оценки риска с помощью индикаторов. Приведен пример картирования и количественной оценки регионального экологического риска влияния техногенного импульсного шума в Северном море на сельдь в сезоны нереста. Заключение. Рассмотрены подходы к управлению воздействием техногенного подводного шума на морскую среду, биоразнообразию и экологический статус морей, позволяющие встраивать управление шумовым загрязнением в морское пространственное планирование. Картирование риска воздействия подводного шума на биоразнообразие и количественная оценка уровней техногенного шумового загрязнения акватории с помощью индикаторов облегчают принятие решений по регулированию и снижению шума. В ряде морских регионов России, преимущественно дальневосточных, для различных источников техногенного шума выполняются разработки и оценки,

необходимые для управления подводным шумовым загрязнением. Проведение аналогичных оценок для западных арктических морей имеет также большое значение, а выбор подходов к управлению риском воздействия техногенного подводного шума может существенно повлиять на экологическую безопасность морских экосистем. Ключевые слова: техногенный подводный шум, экологический риск, морские экосистемы, экосистемное управление, карта риска, индикаторный подход к количественной оценке риска.

25.01-01.209 Акустическое излучение турбулентного пограничного слоя, образующегося над плоской гладкой границей. Беляев И.В., Копьев В.Ф., Миرونнов М.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 6, с. 865-877. Рус.

Изложена последовательная теория генерации звука в турбулентном пограничном слое, развивающемся над плоской гладкой границей при малых числах Маха. Основным источником звука и длинноволновой части пульсаций давления на обтекаемой границе являются приходящие сдвиговые (вязкие) волны, генерируемые лайтхилловскими квадрупольями в пристенной области турбулентного пограничного слоя. Показано, что при увеличении числа Рейнольдса (уменьшении вязкости) роль вязкости в генерации звука не уменьшается, а увеличивается. Даны количественные оценки спектра удельной звуковой мощности, генерируемой в турбулентном пограничном слое.

См. также **25.01-01.204**

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

25.01-01.210 Трансформация мезомасштабных океанических вихрей в филаменты: анализ данных альтиметрии. Жмур В.В., Белоненко Т.В., Новоселова Е.В., Суетин В.П. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2024. 17, № 4, с. 8-31. Рус.

Спутниковые данные дистанционного зондирования предоставляют обширный массив оптических, инфракрасных (ИК) и радиолокационных изображений поверхности океана, на которых видны многочисленные вытянутые вихревые структуры — филаменты. Их высокая контрастность на изображениях обусловлена наличием поверхностно-активных пленок и/или скопленений водорослей. Из-за вытянутой формы филаменты трудно отличить от вихрей с помощью автоматизированных методов идентификации. Однако и филаменты, и вихри характеризуются высокой относительной завихренностью и кинетической энергией. Трансформация вихрей в филаменты обусловлена взаимодействием с неоднородными фоновыми течениями. В данном исследовании применяется теоретическая модель растяжения мезомасштабных океанических вихрей к реальным данным альтиметрии. Цель исследования — оценить долю мезомасштабных вихрей, претерпевающих растяжение и трансформирующихся в филаменты, что приводит к перераспределению энергии с мезомасштаба на субмезомасштаб. Оценивается глобальное пространственное распределение областей с неограниченным и ограниченным растяжением мезомасштабных вихрей и интерпретируются полученные результаты. Уменьшение энергии вихрей за счет растяжения, вызванного фоновым потоком, рассматривается как потенциальный механизм передачи энергии от вихря к потоку, что может проявляться в виде эффекта отрицательной вязкости.

См. также **25.01-01.204**

Гидроакустические преобразователи и антенны

25.01-01.211 К вопросу об использовании байесовского метода для поиска подводных объектов. Гончаров А.Е. Сибирский аэрокосмический журнал. 2024. 25, № 4, с. 412-422. Рус.

Поиски и изучение подводных антропогенных объектов, в частности исторических кораблей, является одним из наиболее

актуальных направлений в современной подводной археологии, охватывающих спектр задач теоретического и прикладного характера. В практике поиска затонувших судов достаточно редким случаем является обнаружения судна на основе заранее (априори) известных данных. В связи с этим, а также использованием определенных из области теории вероятности и математической статистики, естественным направлением развития систем поиска стала байесовская статистика, а именно, поисковый метод, нашедший применение в ряде известных зарубежных поисковых проектов. Метод поиска Байеса для установления местоположения затонувших судов, а также их идентификации почти не использовался в отечественной практике подводной археологии. Однако потребность в его применении существует, как это показала экспедиция 2024 г. по поиску транспортного судна «Тбилиси», потопленного в годы Великой Отечественной войны в Енисейском заливе: несмотря на относительно небольшую площадь акватории поисковой зоны, установление местоположения корабля стало весьма трудоемким процессом. В то же время применение байесовского поиска могло бы существенно облегчить данную задачу. В связи с этим в настоящей статье рассмотрена методика применения байесовского поиска для обнаружения затонувших судов (приведен пример построения распределения вероятностей в зоне поиска судна «Тбилиси»). Кроме того, автором рассмотрен вопрос об использовании байесовского метода для идентификации объектов (предложена модель базы данных с включением в нее различных параметров поиска). В качестве реального примера представлены результаты работы экспедиции 2024 г. с описанием исторического объекта, условий поиска, а также проблем, возникших в ходе проведения данной работы.

Подводные измерения и калибровка аппаратуры

25.01-01.212 Измерение уровней подводного шума источника в области высоких частот прямым методом и с использованием векторно-фазовой обработки. Калью В.А., Краснописцев Н.В., Лосев Г.И., Некрасов В.Н., Петрова В.В., Смирнов Д.А. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024, № 2(408), с. 107-115. Рус.

Объект и цель научной работы. Оценки уровня подводного шума движущегося широкополосного источника, получаемые прямым и косвенным методами, с использованием комбинированного приемника звукового давления и компонент вектора колебательной скорости. Материалы и методы. Натурные эксперименты в реальных условиях измерения, статистический анализ результатов экспериментов. Основные результаты. По представительным выборкам выполнено сравнение оценок уровня шума в области высоких частот, получаемых прямым методом, только по каналу звукового давления, и косвенным методом, путем пересчета значений потока акустической мощности в идеальных условиях и в условиях реальной акватории. Заключение. В условиях шумозаглушенного бассейна оценки уровней подводного шума источника в диапазоне частот от 1 до 10 кГц, получаемые как усреднением квадрата акустического давления, так и усреднением плотности потока акустической мощности, не различаются на фоне погрешности калибровки канала колебательной скорости. При измерениях уровней подводного шума источника в условиях реальной акватории использование усредненной по времени плотности потока акустической мощности дает более точную оценку, значимо отличающуюся в меньшую сторону от результатов непосредственного измерения среднего по времени квадрата акустического давления. Ключевые слова: звуковое давление, колебательная скорость, векторный приемник, плотность потока акустической мощности, уровень подводного шума.

25.01-01.213 Термостратифицированный бассейн Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН для моделирования гидрофизических процессов. Родионов А.А., Ванкевич Р.Е., Лобанов А.А., Глитко О.В., Шпилев Н.Н. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2024, 17, № 4, с. 90-99. Рус.

Лабораторное моделирование гидрофизических процессов является одним из методов решения научных и практических задач исследования океана. В Санкт-Петербургском филиале Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук создан гидрофизический бассейн. Работы в бассейне сопровождаются цифровой копией, позволяющей оптимизировать программы и методики экспериментов. Конструкция бассейна и технологические характеристики позволяют моделировать многослойную стратификацию. В статье содержится описание бассейна, включающее геометрические размеры ($7 \times 2 \times 2,2$ м — длина, ширина, глубина), аппаратный измерительный комплекс, метрологическое обеспечение, технологию создания температурной стратификации. Приведены типовые профили 2-х и 3-слойной стратификации. На основе теории подобия оценены допустимые масштабы воспроизводимых натуральных гидрофизических процессов. Показано, что созданный гидрофизический бассейн занимает промежуточное место между лотками с солевой стратификацией и большим термостратифицированным бассейном Института прикладной физики РАН. При этом в совокупности с цифровой моделью бассейна является возможность воспроизводить гидрологические условия, охватывающие основные типы стратификации озер, морей и океанов, при оптимизации временных и функциональных параметров проведения экспериментов.

25.01-01.214 Цифровая копия термостратифицированного бассейна Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Ванкевич Р.Е., Родионов А.А., Лобанов А.А., Филлин К.Б., Шпилев Н.Н. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2024, 17, № 4, с. 100-108. Рус.

Статья посвящена разработке цифровой модели большого термостратифицированного бассейна для гидрофизических исследований. При построении моделей использованы современные наработки в области вычислительной гидродинамики и высокопроизводительных вычислений для оптимизации и частичного замещения дорогостоящих физических экспериментов. Задание и поддержание термической стратификации в бассейне обеспечивается тонкой настройкой режимов работы теплового/холодильного оборудования на основе использования разработанной цифровой модели бассейна. Цифровая копия рассматривается в первую очередь как вспомогательный инструмент, призванный оптимизировать серийные эксперименты. В качестве критериев оптимизации могут быть рассмотрены время либо минимизация затрат на установление заданной стратификации в бассейне. В то же время совершенствование численной модели по данным физических экспериментов позволит экстраполировать верифицированные лабораторным путем зависимости для описания режимов, характерных для натуральных процессов в океане, но сложно реализуемых при масштабном физическом моделировании. Цифровая копия служит конструктивным дополнением к термостратифицированному бассейну, поскольку позволяет рационально построить методику эксперимента, достичь желаемого результата при сокращении временных и материальных ресурсов.

25.01-01.215 Гидроакустический бассейн Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук. Родионов А.А., Никитин Д.А., Филлин К.Б., Шпилев Н.Н., Паничева Е.Д. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2024, 17, № 4, с. 109-121. Рус.

В Санкт-Петербургском филиале Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук построен и введен в строй заглушенный гидроакустический бассейн, оснащенный автоматизированной системой закрепления и перемещения измерительных излучателей, приёмников (гидрофонов) и исследуемых моделей объектов. В состав оборудования бассейна входят излучатели, гидрофоны, многофункциональные эхолоты с режимом гидролокаторов бокового обзора, усилители излучающего и приёмного трактов, аналого-цифровые преобразователи, переносные компьютеры с программным обеспечением для формирования излучающих и регистрации принимаемых сигналов. Созданы функционирующие макеты приёмного и излучающего трактов. Разработана математическая модель бассейна на основе расчёта гидроакустических полей методом мни-

мых источников. Оценено качество заглушенности бассейна, показавшее её удовлетворительное значение. Для проведения экспериментов по исследованию отражающих свойств объектов изготовлены стандартные модели этих объектов. Заглушенный гидроакустический бассейн позволяет проводить исследование характеристик макетов гидроакустических средств, методов формирования и обработки сигналов в активном и пассивном режимах работы; процессов, происходящих в водной среде.

См. также **25.01-01.211**

Компьютерное моделирование в гидрофизике и гидроакустике

См. **25.01-01.205**

Лабораторное экспериментальное моделирование

25.01-01.216 Звуковое поле струи, истекающей из прямоугольного сопла. *Власов Е.В., Каравосов Р.К., Самохин В.Ф.* Учен. зап. ЦАГИ. 1999. 30, № 1-2, с. 131-134. Рус.

Представлены результаты экспериментальных исследований акустических характеристик дозвуковых турбулентных струй, истекающих из прямоугольных сопел с относительно небольшим соотношением сторон выходного сечения. Показано, что направленность звукового излучения и спектры шума в дальнем акустическом поле таких струй близки к соответствующим характеристикам струи, истекающей из круглого сопла.

См. также **25.01-01.34, 25.01-01.42, 25.01-01.83, 25.01-01.213, 25.01-01.214, 25.01-01.215**

Атмосферная и аэроакустика

25.01-01.217 Трансформация сигнала атмосферного давления при распространении от вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай. *Чунчужов И.П., Куличков С.Н., Попов О.Е., Перепёлкин В.Г.* Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 20. Рус.

Показано, что основной вклад в сигналы давления от извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай, зарегистрированные на барографах станций международной системы инфразвукового мониторинга, дает суперпозиция моды Лэмба и акустических мод. На основе решения линеаризованного уравнения Кортевега—де Вриза дано объяснение закономерностям в изменении формы наблюдаемого сигнала давления с ростом расстояния от вулкана. Вклад акустических мод рассчитывался методом псевдодифференциального параболического уравнения для реальных вертикальных профилей эффективной скорости звука в атмосфере по всей трассе распространения сигнала. Была получена оценка энергии извержения вулкана по амплитуде давления и характерной длительности сигнала. Она дает значения, значительно превышающие энергию, выделившуюся при взрыве ядерной бомбы в 58 Мт ТНТ.

25.01-01.218 Некоторые результаты атмосферных колебаний по данным акустической станции ИСЗФ СО РАН. *Сорокин А.Г., Добрынин В.А.* Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 20. Рус.

Обсуждаются вопросы наблюдения и регистрации на акустической станции ИСЗФ СО РАН низкочастотных атмосферных акустических колебаний. Колебания на частотах ниже частоты Брента—Вайсяля связаны, предположительно, с ветровыми пульсациями и возбуждаются конвективными движениями в атмосфере в условиях горной местности и долины, распространяясь, соответственно, со скоростью ветра. Для интерпретации наблюдаемых колебаний используются данные высотного профиля температуры на основе сервиса ERA5 в районе наблюдений, оцениваются частоты Брента—Вайсяля и возможные области высот возбуждения искомым колебаний. Предлагается способ оценки параметров наблюдаемых колебаний на основе развития в атмосфере конвективной неустойчивости.

25.01-01.219 Успехи акустического зондирования в исследованиях структуры и динамики атмосферного пограничного слоя. *Красненко Н.П., Потеев А.И., Шаманова Л.Г.* Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 21. Рус.

Представлен обзор современных достижений по дистанционному акустическому зондированию атмосферы. Рассматриваются также гибридные радиоакустические и оптико-акустические наземные системы измерения высотных профилей метеорологических параметров: скорости и направления ветра, температуры, влажности (паров воды), а также гидрометеоролов. Совместное использование таких систем позволяет существенно расширить набор измеряемых параметров и их

пространственно-временной диапазон, одновременно обеспечивая синергетический эффект. Приводятся характеристики существующих систем зондирования и области их применения. Обсуждаются преимущества и недостатки различных систем, а также вопросы их совместного использования в виде гибридных систем и с наземными измерительными комплексами и дронами.

25.01-01.220 Детальные измерения характеристик волны Лэмба при извержении вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай. *Попов О.Е., Чунчужов И.П., Куличков С.Н., Закиров М.Н., Мишенин А.А., Лесик Н.П.* Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 21. Рус.

В результате извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай практически на всех станциях международной системы инфразвукового мониторинга была зарегистрирована волна Лэмба. В зависимости от помеховой обстановки волну Лэмба удалось наблюдать на барографах после того, как волна несколько раз обогнула Землю. В частотном диапазоне 0.00015—0.00065 Гц рассматриваются энергетические и скоростные характеристики волны Лэмба. Оценивается зависимость энергии и времени распространения волны Лэмба от направления и расстояния от вулкана до барографов. Проводится сравнение экспериментальных оценок с аналитическими и модельными расчетами. По данным регистрации сигнала давления на барографе, находящемся в 64 км от вулкана и на других расстояниях от него, и результатам сравнения с изменением давления на ближних расстояниях при других мощных извержениях вулканов, обсуждается возможный механизм возбуждения волны Лэмба.

25.01-01.221 Акустическое обнаружение низколетающих дронов. *Красненко Н.П., Рыбаков И.А., Раков А.С.* Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 21. Рус.

Рассматривается проблема обнаружения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Дан обзор имеющихся материалов по анализу возможностей обнаружения БПЛА средствами акустической разведки. Представлены результаты экспериментов по исследованию демаскирующих акустических признаков при полете квадрокоптеров. Рассматриваются возможности пассивного и активного обнаружения.

25.01-01.222 Особенности излучения шума нагретой турбулентной струи. *Вельев И.В., Бычков О.П., Копьев В.Ф., Фараносов Г.А.* Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 22. Рус.

Шум турбулентной струи остается одним из значимых источников шума самолета на местности. Чем меньше степень двухконтурности двигателя, тем больший вклад вносит реактивная струя внутреннего контура в общие уровни шума самолета. Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что струя внутреннего контура, вообще говоря, является нагретой. Известно, что при фиксированном перепаде давления нагрев струи приводит к увеличению шума в дальнем поле, что связано с боль-

шей фактической скоростью ее истечения. Если же фиксировать скорость истечения и сравнивать особенности излучения шума для холодной и нагретой струй, то можно наблюдать различные эффекты, в зависимости от скорости струи. Так, для скоростей истечения струи, близких к звуковым (местное число Маха $M \geq 0.7$), нагретая струя будет тише холодной во всей области частот, а в случае малых скоростей истечения ($M < 0.5$) нагретая струя в низких и средних частотах (число Струхала $St \leq 1$) будет заметно громче. Если меньший шум нагретой струи можно объяснить ее меньшей плотностью по отношению к внешней среде, то больший шум объясняется наличием дополнительного энтропийного источника шума. Ранее в зарубежной литературе было предсказано, что такой источник шума в отличие от мелкомасштабной турбулентности имеет не квадрупольную, а дипольную структуру, которую обычно связывают с наличием пульсаций силы. На настоящий момент в модернизированной заглушенной камере АК-2 ЦАГИ реализована возможность исследования шума нагреваемых струй. Исследованы особенности азимутальной структуры горячих до- и сверхзвуковых струй. Наряду с обозначенными выше особенностями излучения шума впервые при помощи метода азимутальной декомпозиции было в явном виде продемонстрировано наличие дополнительного дипольного источника шума нагретой струи.

25.01-01.223 Анализ механизма шумообразования в турбулентных струях. Крашенинников С.Ю. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 22. Рус.

Анализируются известные экспериментальные данные о пульсационном движении и эволюции турбулентности в слое смешения турбулентной струи и результаты вычислительного моделирования течения в турбулентной струе, полученные на основе численного решения уравнений Навье—Стокса с использованием LES-технологии и Фурье-анализа. Анализ показывает, что общие свойства и структура течения, а также и процесс шумообразования обусловлены динамическим воздействием нестационарного движения в слое турбулентного смешения на внешнюю среду. Измерительные и вычислительные эксперименты, в которых исследовалась структура течения в турбулентных струях, показывают, что в слое смешения струи наблюдаются области пониженного давления, индуцирующие втекание внешней среды. Причиной шумообразования являются квазипериодические пульсации на периферии слоя смешения, создаваемые чередующимся продольным движением этих областей, в которых имеет место и пониженное и повышенное давление. Такое движение вызывает близкие к периодическим перемещения потоков массы вовлекаемых в турбулентный слой смешения. Наличие периодической составляющей и определенной скореллированности в этом пульсационном движении обуславливает появление звуковых волн. Характерные частоты этих пульсаций соответствуют известным результатам измерений распределения частоты акустического излучения вдоль слоя смешения турбулентной струи.

25.01-01.224 Исследование шума высокоскоростных струй на основе данных численного моделирования. Бычков О.П., Миронюк И.Ю., Фараносов Г.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 23. Рус.

Актуальность задачи исследования механизмов генерации шума высокоскоростных струй, в том числе сверхзвуковых, обуславливается развитием гражданских сверхзвуковых самолетов нового поколения и необходимостью снижения их уровня шума. Ряд теоретических и экспериментальных исследований показал, что генерация шума в высокоскоростных струях может быть связана с различными физическими механизмами. Развитие численных методов позволяет провести достаточно точное моделирование звукового поля сверхзвуковой струи с целью более глубокого анализа его структуры и особенностей соответствующих источников шума. В работе выполнено численное моделирование аэроакустических характеристик нескольких высокоскоростных струй. Расчеты проведены методом моделирования крупных вихрей (LES), реализованным на базе схемы SABARET. Получены характеристики среднего течения, пульсаций в ближнем поле струи и шума в дальнем акустическом поле, в том числе его азимутальный состав. Сопоставление данных, полученных из расчета, с имеющимися экспериментальными данными показало их хорошее соответ-

ствие как для спектров пульсаций скорости в струе, так и для спектров и направленности шума. Проведен анализ излучения отдельных азимутальных компонент шума струи в дальнем поле и показано, что в зависимости от угла наблюдения и режима истечения струи в звуковом сигнале могут доминировать вклады источников шума различной природы.

25.01-01.225 Сравнение акустических характеристик нагретой сверхзвуковой струи для сопел различной геометрии. Беляев И.В., Бычков О.П., Кажан А.В., Фараносов Г.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 23. Рус.

При создании перспективного сверхзвукового пассажирского самолета одной из ключевых проблем является снижение его воздействия на окружающую среду, в частности, шума на местности. Основным источником шума такого самолета является реактивная струя высокой скорости, истекающая из сопел двигателя малой степени двухконтурности. Снижение шума турбулентной струи — достаточно затруднительный процесс, и до сих пор основной прогресс в данном направлении был достигнут за счет снижения скорости истечения струи (закон восьмой степени Лайтхилла). Определенный прогресс в снижении шума струи достигался ранее и за счет изменения геометрии сопла (например, гофрированные и шевронные сопла), выраженный в основном в виде снижения шума в низкочастотной области и его повышение в области высоких частот. На основе результатов испытаний с ненагретыми струями в заглушенной камере АК-2 ЦАГИ было продемонстрировано, что использование плоского сопла с эжектором и экранами при наличии спутного потока интегрально может привести к снижению шума на местности в метрике EPNL. В модернизированной заглушенной камере АК-2 ЦАГИ с возможностью исследования нагреваемых потоков были проведены акустические измерения характеристик нагретых турбулентных струй, истекающих из плоского сопла с элементами шумоглушения и из эквивалентного круглого сопла в статических условиях. Результат экспериментального исследования изменения шума нагретой струи при использовании плоского сопла специальной геометрии показал, что снижение шума имеет противоречивый характер. На некоторых углах наблюдения и в отдельных областях частот наблюдается снижение шума, при этом на других углах и частотах шум, наоборот, увеличивается. Причем без спутного потока эффект усиления шума является доминирующим и не изменяется принципиально при нагреве струи. Поэтому целесообразность использования такого сопла для снижения шума самолета в метрике EPNL требует дополнительных исследований, в том числе с моделированием полетных условий.

25.01-01.226 Особенности акустических характеристик щелевых ЗПК. Остриков Н.Н., Ипатов М.С., Денисов С.Л., Яковец М.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 24. Рус.

Работа посвящена исследованию акустических характеристик, так называемых, щелевых звукопоглощающих конструкций (ЗПК), которые состоят из лицевой панели, перфорированной щелевыми отверстиями, густой сетки и сотоблока с относительно небольшим размером грани ячейки. Проводились измерения импеданса щелевых ЗПК с помощью интерферометра нормального падения и на установке “Интерферометр с потоком” в зависимости от воздухопроницаемости сетки и скорости скользящего потока, а также при наличии и отсутствии дренажа в сотоблоке. Показано, что щелевые ЗПК реализуют большое значение реальной части импеданса в широкой полосе частот, которое, тем больше, чем меньше воздухопроницаемость сетки, в то время как мнимая часть импеданса в большей мере определяется высотой сотоблока. Показано, что фактически отсутствует зависимость импеданса щелевых ЗПК от уровня звукового давления на лицевой панели. Показано, что до частоты 4 кГц импеданс щелевых ЗПК не зависит от наличия дренажных отверстий в сотоблоке, размер которых характерен для ЗПК, устанавливаемых на современных авиадвигателях, и дано объяснение этого эффекта. Показано, что импеданс щелевых ЗПК достаточно сильно зависит от скорости скользящего потока. В целом, исследования показали, что щелевые ЗПК обеспечивают в широком диапазоне частот значения импеданса близкие к оптимальным значениям для облицовки стенок кана-

ла воздухозаборника авиадвигателя с высокой степенью двухконтурности.

25.01-01.227 Особенности распространения звука в неоднородных каналах с потоком: сравнение аналитического и численного решений. *Башикатов В.В., Остриков Н.Н.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 24. Рус.

Для настройки параметров звукопоглощающих конструкций (ЗПК), устанавливаемых в авиационных двигателях, на максимальное снижение шума на местности, необходимо проводить расчеты распространения тысяч звуковых мод в неоднородных облицованных каналах силовых установок. При этом в силу ограниченности современных вычислительных возможностей затруднительно провести полный цикл расчетов, необходимых для решения оптимизационной задачи по подбору параметров ЗПК, с помощью только численных методов. Именно поэтому сохраняется необходимость использования математических моделей, основанных на аналитических решениях задачи распространения звука в неоднородных облицованных каналах с потоком. В настоящей работе проведено сравнение аналитического решения, основанного на использовании адиабатического инварианта, реализующегося в главном члене асимптотического разложения по малому параметру, описывающему неоднородность канала, с решением, полученным с использованием численного метода конечных элементов (МКЭ). Показано, что исследуемая аналитическая модель при тех параметрах, при которых проводились расчеты, не описывает звуковое поле в канале в полной мере. В частности, в исследованном аналитическом решении не учитываются эффекты отражения звука в зонах относительно сильной неоднородности геометрии канала, но имеющие место в численном решении задачи. В целом, результаты проведенных исследований показывают необходимость разработки принципиально новых аналитического подходов для решения задач о распространении звука в неоднородных каналах с потоком.

25.01-01.228 О границе неустойчивости кругового вихря со сглаженным профилем завихренности в сжимаемом газе. *Копьев В.Ф., Чернышев С.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 25. Рус.

Известно, что локализованный вихрь обладает двумя специфическими механизмами взаимодействия с окружающим потоком. Первый связан с генерацией вихревыми возмущениями акустического излучения, а второй представляет собой майлсовский механизм взаимодействия колебаний вихревого ядра с возмущениями в окрестности критического слоя. Эти два механизма играют важную роль в устойчивости вихревой системы, оказывая противоположный эффект на колебания дискретного спектра. Поскольку излучение звука сопровождается потерей энергии, уносимой звуковыми волнами на бесконечность, а майлсовский механизм, наоборот, сопровождается положительным потоком энергии из критического слоя, то в зависимости от знака энергии колебаний один из этих механизмов приводит к потере устойчивости, а другой к демпфированию возмущений. В настоящей работе впервые рассмотрено вихревое течение, в котором одновременно реализуются оба конкурирующих механизма, при этом рассмотрены случаи произвольных чисел Маха, которые могут реализовываться в двумерном изоэнтропическом течении. Решена задача о колебаниях 2-мерного течения с круговым вихрем со сглаженным профилем завихренности в сжимаемом газе. Для течений с малым числом Маха получено аналитическое решение задачи и показано, что дискретная мода, соответствующая кельвиновским колебаниям кругового вихря, уходит с верхнего листа римановской поверхности частоты на нефизический лист через разрез, связанный с непрерывным спектром возмущений (майлсовское демпфирование). Однако при учете сжимаемости эта мода может стать неустойчивой в зависимости от параметров системы и реализующегося в течении баланса энергии. Найдена граница области неустойчивости, и получена величина инкремента. Для течений с большим числом Маха, в том числе для сверхзвукового вихря, проведено численное исследование задачи. Получена оценка максимального значения градиента завихренности в критическом слое, для которого реализуется акустическая неустойчивость при больших числах Маха.

25.01-01.229 О возможности появления дипольного источника звука в безграничном течении с градиентом энтропии. *Копьев В.Ф., Петров А.Г., Фараносов Г.А., Чернышев С.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 25. Рус.

Рассмотрена динамика распределенного двумерного вихря (вихрь Ранкина) в случаях, когда на его границе существует скачок энтропии. Когда течение несжимаемое, а плотность вихря отличается от плотности внешней среды, получены характеристики собственных колебаний. Собственные моды зависят от отношения плотностей внешней среды и вихря. В классическом случае всюду постоянной плотности решение переходит в решение Кельвина, которое существует для всех $n \geq 2$. В случае появления скачка плотности на границе вихря возникает колебательное решение с $n=1$, которое при учете сжимаемости соответствует дипольному источнику звука.

25.01-01.230 Оценка шума на местности перспективного самолета с распределенной силовой установкой, интегрированной с планером. *Замтфорт Б.С., Беляев И.В.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 25-26. Рус.

Настоящая работа посвящена исследованию акустических характеристик самолета с распределенной силовой установкой (PCY) на основе опубликованных данных по проекту NASA(SUSAN) регионального самолета на 180 пассажиров с дальностью до 4500 км, PCY которого состоит из кормового ТРДД (35% тяги и отбор мощности на привод электрогенераторов) и 16 крыльевых винтов с электроприводом (ВЭ) (65% тяги, создающейся на взлетно-посадочном и крейсерском режимах). Поскольку опубликованных данных недостаточно для проведения оценок шума на местности такого самолета, то в настоящей работе был принят следующий метод. В начале подбирается самолет-аналог традиционной схемы с ТРДД для получения взлетно-посадочных характеристик. Далее тяговые характеристики самолета-аналога реализуются в рассматриваемом самолете с указанным распределением тяг между кормовым ТРДД и 16 винтами. Затем определяются основные характеристики ТРДД (степень двухконтурности, температура газа перед турбиной и др.) и параметры ВЭ (число лопастей, шаг, окружная скорость), позволяющие реализовать требуемые тяги на взлетно-посадочных режимах полета. После этого на основе программных комплексов "БАСТОН" и "SOPRANO" проводится расчет матриц уровней звукового давления, которые пересчитываются в контрольные точки самолета и сравниваются как с нормами Главы 14 стандарта ИКАО, так и с шумом на местности современных самолетов с указанной пассажироместимостью и дальностью полета.

25.01-01.231 Исследование энергетических свойств акустических полей на ориентируемых и неориентируемых пространствах. *Демьянов М.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 26. Рус.

В аэроакустике рассматриваются задачи определения акустического поля, генерируемого нестационарным течением среды для различных геометрий и краевых условий. Краевые условия периодического типа задают связь между различными точками пространства, и тем самым геометрия конкретной задачи, может быть эквивалентно представлена как связанное топологическое пространство. Таким образом, имеет смысл рассмотреть уравнения акустического поля для общего случая метрических пространств. В данной работе приводятся собственные решения уравнения Гельмгольца для ряда различных классов диффеоморфизмов топологических пространств и исследуются их качественные особенности. Приводятся энергетические характеристики собственных мод, а также рассматриваются их термодинамически равновесное распределение, исследуются характеристики тепловых пульсаций поля давления для данного распределения.

25.01-01.232 Звукоизоляция фюзеляжных самолетных конструкций с различным составом резонансных элементов. *Зверев А.Я., Лазарев Л.А.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 26. Рус.

Проблема снижения шума в салоне винтового самолета является актуальной задачей внутренней акустики, так как традиционные звукоизолирующие конструкции не обладают до-

статочной эффективностью в области низких и средних частот. Одним из перспективных способов ее решения является применение резонансных систем, с помощью которых можно существенно увеличить звукоизоляцию бортовой фюзеляжной конструкции самолета в этом частотном диапазоне. В данной работе экспериментально определено влияние резонансных систем на звукоизолирующую способность плоских и цилиндрических панелей без подкрепления и с подкреплением, моделирующим силовой набор бортовой конструкции самолета, а также определена эффективность облицовки салона пассажирского самолета резонансными системами различного состава. Испытания проводились в звукомерных камерах и на натурном стенде, представляющем собой реальный пассажирский самолет. При облицовке испытываемых конструкций использованы акустические резонаторы различного вида с резонансными элементами, изготовленными с применением фольги, микалентной бумаги и термополиуретана. Показано, что эффективность резонансных систем может достигать 10–20 и более децибел.

25.01-01.233 Развитие полуаналитических методов прогноза колебаний и акустического излучения тонкой оболочки с формой, отличной от цилиндрической. Светлов В.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 27. Рус.

Представление фюзеляжа в виде цилиндрической оболочки во многих случаях является приближенным и может приводить к неточностям расчета, в частности, перспективных компонентов фюзеляжа эллиптической формы. Рассмотрено развитие имеющейся в настоящее время модели расчета применительно для самолетов с фюзеляжами, характеризующимися значительным удлинением по одной оси по сравнению с другой (эллиптический фюзеляж), самолетов, характеризующихся наличием плоских участков фюзеляжа (летающее крыло, конвертоплан), летательных аппаратов двойной кривизны (вертолеты). На основании уравнений колебаний тонкой упругой оболочки, используя разложение колебаний по базисным функциям с применением метода Бубнова–Галеркина, разработан алгоритм расчета спектра акустического излучения в салон самолета, имеющего форму фюзеляжа, отличную от цилиндрической. Представлено применение данного алгоритма для оболочки в виде эллиптического цилиндра.

25.01-01.234 Расчетная оценка тонального шума несущего винта на режиме горизонтального полета. Акиншин Р.В., Воронцов В.И., Копьев В.Ф., Титарев В.А., Фараносов Г.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 27. Рус.

Несущий винт является мощным источником тонального и широкополосного шума, который необходимо учитывать при оценке шума вертолета на местности. Если широкополосная компонента обычно измеряется в эксперименте или моделируется с помощью полуэмпирических подходов, то для оценки тональной составляющей шума можно использовать методы численного моделирования. При этом винт является сложной аэродинамической системой, и его обтекание характеризуется рядом особенностей, влияющих, в том числе, на генерацию шума. Эти особенности необходимо учитывать при моделировании шума винта численными методами. Применительно к данной задаче в акустическом отделении ЦАГИ развиваются вычислительные подходы двух типов: (1) Метод среднего уровня, основанный на моделировании обтекания одной вращающейся лопасти в компактной расчетной области. Методы подобного класса позволяют получить достаточно детальную картину обтекания лопасти и могут быть реализованы на современных рабочих станциях как инструмент инженерных исследований при условии, что отработана методика корректной интерпретации получаемых результатов, поскольку вихревая система винта в таком подходе не воспроизводится. (2) Метод высокого уровня, основанный на численном моделировании нестационарного обтекания полного винта. Такой подход позволяет получать прямую оценку тонального шума винта на различных режимах обтекания, но является достаточно затратным по требуемым вычислительным ресурсам по сравнению с методом типа (1).

25.01-01.235 О возможности снижения шума вентилятора за счет изменения спектра ударных волн, отходящих от лопаток вентилятора. Юдин М.А., Ко-

пьев В.Ф., Чернышев С.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 28. Рус.

Одним из источников шума современного двигателя является вентилятор. Особенно заметен шум вентилятора 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. Нелинейность задачи приводит к тому, что малые изменения ударно-волновой структуры перед венцом вентилятора влекут за собой существенные отличия при удалении от него. Этот механизм может быть использован для перераспределения спектра ударных волн с целью снижения шума от данного источника.

25.01-01.236 Разработка методов модального анализа шума модельных вентиляторных ступеней. Милешин В.И., Россижин А.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 28. Рус.

Для успешного продвижения работ, направленных на снижение тонального шума ТРДД, необходимо понимание механизмов, отвечающих за генерацию тонального шума и за распространение тонального шума по тракту двигателя. Методы измерения модального состава звукового поля в тракте двигателя позволяют разделить вклад различных источников в шум двигателя и тем самым определить основные направления модификации, необходимые для снижения шума. В данной работе рассматриваются методы модального анализа тонального шума, основанные на теории сжатых измерений. Упомянутая теория нашла широкое применение в задачах обработки сигналов, в тех случаях, когда имеются основания полагать, что сигнал может быть разрежен в определенном представлении. В качестве исходных данных для методов используются записанные сигналы микрофонов, неподвижно установленных на корпусе воздухозаборника. Предполагается, что микрофоны распределены тем или иным образом по некоторой области обечайки канала воздухозаборника достаточно большой длины. В рамках рассмотренных методов реализована возможность использовать в качестве исходных данных, как спектры микрофонов, так и матрицы спектральных плотностей для микрофонной решетки. Представлен анализ имеющихся ограничений на разрешающую способность микрофонной решетки, расположенной на обечайке. Выполнено тестирование методов на основании искусственно сгенерированных данных о пульсациях давления в местах расположения микрофонов. Показано, что с их помощью можно, в том случае если модальный состав достаточно разрежен, выявить моды, вносящие наибольший вклад в излучение в воздухозаборнике.

Механизмы, влияющие на распространение звука в воздухе

См. 25.01-01.129

Инфразвуковые и акустико-гравитационные волны

См. 25.01-01.129

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

25.01-01.237 О механизме боковой асимметрии излучения шума воздушного винта, установленного вблизи крыла. Копьев В.Ф., Остриков Н.Н., Фараносов Г.А., Титарев В.А., Денисов С.Л., Акиншин Р.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5, с. 692-709. Рус.

Изучается эффект боковой асимметрии диаграммы направленности излучения воздушного винта, установленного вблизи крыла. В рамках упрощенной теоретической модели шума нагрузки винта и его экранирования полуплоскостью, а также с помощью численного моделирования взаимодействия винта с плоской конечной пластиной показано, что при близком распо-

ложении винта и рассеивающей поверхности проявляется существенная боковая асимметрия излучения тонального шума винта в дальнем поле. Механизм данного эффекта, сопровождающего симметричную звуковую направленность самого винта и симметрию рассеивателя (крыла), связан со сфокусированным суммированием звукового поля, излучаемого непосредственно винтом, и вторичного звукового поля, генерируемого на поверхности крыла из-за рассеяния возмущений (преимущественно — гидродинамических), создаваемых винтом на передней кромке крыла. Таким образом, проведенное исследование продемонстрировало, что наличие боковой асимметрии диаграммы направленности излучения шума, присущее винтовым самолетам, является следствием взаимодействия винтов и близкорасположенных крыльев.

Распространение в стационарной атмосфере, метеорологические факторы

См. 25.01-01.86, 25.01-01.87

Распространение и рассеяние на турбулентности и на неоднородных течениях

25.01-01.238 Влияние приведенной частоты на кинематику самовозбуждающихся колебаний конического сферического тела при числе Маха $M=1,75$. *Часовников Е.А. Теплофиз. и аэромех.* 2024, № 3, с. 475-481. Рус.

Проведены испытания конуса с задней полусферической частью в сверхзвуковой аэродинамической трубе на установке свободных колебаний по углу тангажа при числе Маха $M=1,75$ при нескольких значениях момента инерции тела относительно оси вращения. Во всех испытаниях после завершения переходного процесса зафиксированы незатухающие колебания конуса с амплитудой, зависящей от приведенной частоты. Выявлено, что зависимость амплитуды незатухающих колебаний от приведенной частоты имеет выраженный резонансный характер.

25.01-01.239 Экспериментальное исследование влияния изменения профиля скорости на устойчивость возмущений в пограничном слое Блазиуса. *Садовский И.А., Катасонов М.М., Козлов В.В. Теплофиз. и аэромех.* 2024, № 5, с. 849-853. Рус.

Исследование посвящено экспериментальному изучению влияния изменения профиля скорости на устойчивость волн Толлмина—Шлихтинга в пограничном слое Блазиуса. Эксперимент проводился в малотурбулентной аэродинамической трубе Т-324 при скорости набегающего потока $U_\infty=9$ м/с. В качестве модели использовалась плоская пластина. Исследования проводились с использованием термоанемометрии. Результаты показали, что распределенное воздействие на пограничный слой Блазиуса через гидродинамически гладкую поверхность приводит к снижению почти на два порядка амплитуды волны Толлмина—Шлихтинга, возбуждающейся естественным образом. В результате распределенного воздействия меняется устойчивость течения. Результаты эксперимента показали, что по сравнению с воздействием на течение через щель, распределенное воздействие более эффективно при прочих равных условиях.

25.01-01.240 Влияние когерентных структур на характеристики ближнего звукового поля турбулентной струи. *Власов Е.В., Макаренко Т.М. Учен. зап. ЦАГИ.* 1994. 25, № 3-4, с. 117-120. Рус.

Рассматривается роль крупномасштабных когерентных структур, образующихся в начальном участке турбулентной струи, в формировании ближнего звукового поля. Измерения коэффициентов пространственно-временной корреляции пульсаций скорости в ядре струи и пульсаций давления в ближнем поле показали тесную связь пульсаций давления с когерентными структурами. Усиление или ослабление крупномасштабных структур путем внешнего воздействия приводит к соответствующему изменению характеристик ближнего звукового поля струи. Для объяснения физики рассматриваемых явлений выполнена визуализация потока в струе.

25.01-01.241 Влияние поперечного акустического

облучения на интенсивность смещения и деформацию сечений круглой струи. *Власов Е.В., Гиневский А.С., Макаренко Т.М. Учен. зап. ЦАГИ.* 1997. 28, № 2, с. 82-86. Рус.

Изложены результаты экспериментального исследования воздействия поперечного акустического возбуждения корневой части круглой турбулентной струи на изменение скорости и интенсивности продольных пульсаций скорости, а также формы поперечного сечения. Эксперименты выполнены при начальном ламинарном пограничном слое на срезе сопла.

25.01-01.242 Экспериментальное исследование возможности подавления волн Толлмина—Шлихтинга при двухчастотном акустическом облучении. *Карякин М.Ю., Литвинов В.М. Учен. зап. ЦАГИ.* 1998. 29, № 1-2, с. 69-77. Рус.

Приведены результаты экспериментального исследования, выполненного на плоской пластине в дозвуковой аэродинамической трубе при внешнем акустическом возмущении с двумя дискретными частотами. Показана возможность одновременного подавления волн Толлмина—Шлихтинга, возбуждаемых при двухчастотном акустическом облучении пограничного слоя. Описана методика выбора искусственных неровностей обтекаемой поверхности, используемых для подавления неустойчивых волн Толлмина—Шлихтинга.

25.01-01.243 Применение метода собственного ортогонального разложения для анализа звукового поля аэроакустических источников. *Бычков О.П., Фараносов Г.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 6, с. 878-890. Рус.

Предложено использовать метод собственного ортогонального разложения в частотной области (SPOD) для идентификации мультипольной структуры аэроакустических источников по измерениям в дальнем звуковом поле. Метод протестирован на примерах с модельными точечными мультиполями, а также проверен в эксперименте применительно к анализу шума обтекания цилиндра и шума турбулентной струи.

См. также 25.01-01.40, 25.01-01.128, 25.01-01.209

Источники звука в атмосфере

25.01-01.244 Валидация квадрупольной модели звукового излучения турбулентной струи на основе использования многомикрофонных акустических измерений. *Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Фараносов Г.А., Коробов А.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5, с. 710-724. Рус.

Разработана низкоуровневая модель квадрупольных источников звука в турбулентной струе в рамках метода акустической аналогии. Для оценки параметров модели и ее валидации используются многомикрофонные акустические измерения звукового излучения струи. На основе измерений, проведенных в различных зонах звукового поля, сделаны оценки размера эффективной области локализации звуковых источников и определены границы зоны доминирования квадрупольного звукового излучения над псевдозвуковыми пульсациями. Предложенная модель может быть использована в практических оценках спектральных и корреляционных характеристик дальнего и ближнего звукового поля струи.

См. также 25.01-01.243

Ударные и взрывные волны, звуковой удар

25.01-01.245 Выбор типа эквивалентного тела вращения с минимальным звуковым ударом. *Новиков М.П. Учен. зап. ЦАГИ.* 2022. 53, № 6, с. 13-18. Рус.

Представлены результаты расчетных исследований основных параметров тел вращения, эквивалентных сверхзвуковым гражданским самолетам, с минимальным уровнем громкости звукового удара на земле на режиме крейсерского сверхзвукового полета.

25.01-01.246 Регулярная и нерегулярная рефракция ударной волны на границе двух газов. *Тузакаев Р.Я.*

Учен. зап. ЦАГИ. 2023. 54, № 2, с. 34-42. Рус.

Изучена задача взаимодействия ударных волн с тангенциальными разрывами, разделяющими два газа с одинаковыми или разными теплоемкостями, движущихся первоначально со сверхзвуковой скоростью. Результаты получены в рамках двумерных нестационарных уравнений Эйлера, с учетом величины теплоемкости газа в каждой расчетной точке. Представлены картины течения с неустойчивостью типа Рихтмайера—Мешкова при падении волны на границу раздела двух газов. Численные расчеты, описывающие взаимодействия разрывов без отраженных от контактной поверхности волн, подтверждены точными аналитическими выкладками.

25.01-01.247 Параметрическое исследование влияния изменчивости характеристик атмосферы на громкость звукового удара от сверхзвукового пассажирского самолета. Горбовской В.С. Учен. зап. ЦАГИ. 2023. 54, № 2, с. 43-55. Рус.

Одной из основных проблем создания сверхзвуковых пассажирских самолетов (СПС) нового поколения является обеспечение приемлемого для человека уровня громкости звукового удара. Характеристики звукового удара (форма волны избыточного давления, карта покрытия на земле и громкость) зависят как от аэродинамической компоновки летательного аппарата, так и от состояния атмосферы. В данной работе на примере аэродинамической компоновки типа NASA X-59 проведено параметрическое расчетное исследование влияния характеристик атмосферы (горизонтального ветра, температуры и плотности), учитывающее случайный характер их значений, в зависимости от времени года и географического положения. Результаты показывают, что годовой разброс максимальной громкости звукового удара при рассмотрении полета над различными частями света (Северная Америка, Южная Америка, Европа, Африка, Азия) составляет 5,7 ПдБ.

25.01-01.248 Моделирование и учет влияния неоднородности атмосферы на высоте полета летательного аппарата на громкость звукового удара. Коновалов С.И. Учен. зап. ЦАГИ. 2023. 54, № 4, с. 36-50. Рус.

Представлены формулы для определения дополнительной громкости звукового удара у земли, обусловленной влиянием вертикального порыва ветра или вертикальной перегрузкой, а также способ оценки точности расчета громкости звукового удара у земли, выполненного на основе данных летного эксперимента и требования к точности измерения вертикальной перегрузки в летных испытаниях. Изложен метод моделирования неоднородности атмосферы на высоте полета летательного аппарата (ЛА) путем размещения генераторов неоднородности в аэродинамической трубе (АДТ). Предлагается дополнить методику исследований ближнего поля давления от модели ЛА в АДТ на сверхзвуке моделированием влияния неоднородности атмосферы на высоте сверхзвукового полета ЛА путем установки генераторов неоднородности в дозвуковой части потока, т.е. до критического сечения сопла, возможно в форкамере АДТ, а также путем изменения угла установки модели в рабочей части АДТ с созданием неоднородности температуры и плотности горячими или холодными струями газа.

25.01-01.249 О траекторной компенсации эффекта фокусировки звукового удара в стандартной атмосфере. Горбовской В.С., Корнуев А.О. Учен. зап. ЦАГИ. 2023. 54, № 6, с. 38-44. Рус.

Разработка перспективного сверхзвукового пассажирского самолета второго поколения тесно связана с проблемой воздействия звукового удара на живых существ и инфраструктуру на земле. Наибольшая интенсивность волны звукового удара наблюдается в зонах фокусировки, возникающих в процессе полета летательного аппарата с ускорением. В работе приводятся общие соображения о возможности компенсации эффекта фокусировки волны звукового удара на земле путем выбора траектории полета летательного аппарата с учетом явления отсечки в условиях стандартной атмосферы.

25.01-01.250 Результаты измерений и расчетная оценка громкости звукового удара самолета. Григорьев Н.С., Накавасин А.Ю., Новиков М.П., Потапов А.В., Степаненко А.Н., Юдин В.Г. Учен. зап. ЦА-

ГИ. 2024. 55, № 1, с. 3-11. Рус.

Представлены основные результаты экспериментальных исследований и расчетных оценок громкости звукового удара (ЗУ) самолета в установившемся горизонтальном полете при числах $M \approx 1.57-1.9$, на высоте $H \approx 11\ 200$ м. Летные испытания проводились с целью отработки методологии измерения интенсивности с оценкой громкости звукового удара на земле. Расчетные оценки громкости звукового удара выполнены на базе квазилинейной (классической) теории с коррекцией и без коррекции времени нарастания избыточного давления в сигналах ударных волн и расчетным методом, позволяющим учитывать эффекты абсорбции и дисперсии.

25.01-01.251 О звуковом ударе. Жилин Ю.Л. Учен. зап. ЦАГИ. 1970. 1, № 3, с. 1-11. Рус.

Теория затухания возмущений в неоднородных средах с произвольной эпюрой начального избыточного давления применяется для исследования звукового удара от самолета при полете неоднородной атмосфере вдоль произвольной траектории. Подробно рассмотрен случай полета самолета в слоистой атмосфере с горизонтальным ветром. Получены выражения для коэффициентов, учитывающих влияние состояния атмосферы и режима полета самолета, и показано, что эти коэффициенты зависят только от пяти параметров подобия.

25.01-01.252 Звуковой удар от самолета при полете в спокойной атмосфере. Жилин Ю.Л. Учен. зап. ЦАГИ. 1973. 4, № 2, с. 1-10. Рус.

Рассматривается случай полета самолета по произвольной траектории в атмосфере с переменными температурой и давлением при отсутствии ветра. Показано, что коэффициенты затухания возмущений от самолета при заданном состоянии атмосферы зависят только от четырех параметров подобия, характеризующих режим полета и положение наблюдателя, воспринимающего звуковой удар, относительно трассы полета. Приведены результаты систематических расчетов для стандартной атмосферы, и показано, что в широком диапазоне изменения параметров подобия влияние двух из них можно с большой точностью выделить в явном виде.

25.01-01.253 Взаимодействие N-волны звукового удара с препятствием в окрестности угловых точек. Соколов К.Б. Учен. зап. ЦАГИ. 1973. 4, № 5, с. 104-109. Рус.

Приведены результаты экспериментального исследования начальной стадии взаимодействия ударной N-волны с верхней частью модели здания простой формы (параллелепипед). Ударные N-волны длиной примерно 3 и 8,5 поперечных размеров здания с перепадами давления во фронте 300 и 500 Па генерировались в конической ударной трубе с разрываемой диафрагмой. Давление на модели измерялось пьезоэлектрическим приемником давления с диаметром чувствительной поверхности $d=2,5$ мм. Выявлена степень влияния волны разрежения, развивающейся от верхнего угла здания, на распределение давления по его передней (по отношению к падающей волне) стенке. Получены зависимости изменения давления во времени в окрестности вершины трехгранного угла в диапазоне углов между двумя плоскостями, установленными перпендикулярно экрану, $T=10-180^\circ$.

25.01-01.254 Возможен ли сверхзвуковой самолет без звукового удара? Таганов Г.И. Учен. зап. ЦАГИ. 1974. 5, № 2, с. 27-37. Рус.

Рассматриваются предельные случаи безволнового образования тяги и подъемной силы в сверхзвуковом потоке. Показано, что при некоторых соотношениях поперечных и продольных размеров несущей системы значительно уменьшается вклад подъемной силы в энергию звукового удара и возрастает длина эквивалентного тела. Оцениваются дополнительные энергетические затраты, связанные с ослаблением звукового удара сверхзвукового самолета.

25.01-01.255 Условия возникновения фокусировки при звуковом ударе. Жилин Ю.Л. Учен. зап. ЦАГИ. 1974. 5, № 2, с. 38-43. Рус.

Показано, что при звуковом ударе фокусировка может вызываться двумя различными причинами. В первом случае возникновение фокусировки связано с маневром самолета и гра-

диентом параметров атмосферы на высоте полета. Во втором случае фокусировка возникает при отражении луча и связана с неоднородностью атмосферы вдоль его траектории (атмосферная фокусировка). Для возникновения атмосферной фокусировки необходимо выполнение трех условий, поэтому это явление представляется маловероятным, что подтверждается экспериментальными данными.

25.01-01.256 Некоторые особенности распространения звукового удара в неоднородной атмосфере. Жилин Ю.Л. Учен. зап. ЦАГИ. 1975. 6, № 4, с. 21-30. Рус.

Сформулированы условия, при которых зона на поверхности земли, подвергаясь воздействию звукового удара при установившемся полете самолета, может быть ограничена, многосвязна или неограниченна, а ее отдельные участки могут подвергаться неоднократным звуковым ударам. Показано, что при исследовании геометрии зоны необходимо учитывать слой атмосферы толщинной порядка не менее 2–3 высот полета самолета. Показано также, что задача об определении поперечных размеров зоны в приближении геометрической акустики в общем случае является некорректной, так как незначительные изменения в распределении параметров атмосферы могут привести к существенному изменению ширины зоны.

25.01-01.257 Измерение характеристик звукового удара баллистическим методом. Белов В.Е., Гурьякин Л.П., Красильщиков А.П., Сурикова И.М. Учен. зап. ЦАГИ. 1976. 7, № 1, с. 143-146. Рус.

Изучается силовое воздействие ударных волн от сверхзвукового летательного аппарата на поверхность или наземные сооружения. Разработана аппаратура и методика для измерения характеристик звукового удара с помощью баллистических методов исследования, которые были применены на малой баллистической установке (МБУ) ЦАГИ. Приводятся результаты опытов с шарами при числах $M=1,35-2$ в диапазоне относительных высот $2,5 < h < 40$.

25.01-01.258 К задаче о взаимодействии трех ударных волн. Подлубный В.В. Учен. зап. ЦАГИ. 1978. 9, № 4, с. 102-106. Рус.

Рассмотрена задача о пересечении трех ударных волн (тройная маховская конфигурация). Система уравнений, описывающая течение в окрестности точки пересечения ударных волн, сведена к алгебраическому уравнению шестой степени. Даны примеры решения.

25.01-01.259 Звуковой удар от тел пространственной конфигурации, обтекаемых потоком с большими сверхзвуковыми скоростями. Рудаков А.И., Юдинцев Ю.Н. Учен. зап. ЦАГИ. 1979. 10, № 3, с. 27-36. Рус.

Представлены результаты исследования затухания возмущений на больших расстояниях от тел пространственной формы в сверхзвуковом однородном потоке газа, выполненные путем экстраполяции данных ближнего поля в дальнюю зону. Распределение параметров возмущенного течения в ближнем поле получено экспериментально для несущего треугольного крыла при $M=2,02$ и численно — для тел вращения под углом атаки при $M=2, 3, 4$. Метод экстраполяции основан на приближенном решении уравнений пространственных течений, преобразованных к независимым переменным давление — две функции тока и упрощенных в предположении "коротких волн".

25.01-01.260 О связывании ближнего и дальнего полей в задаче о звуковом ударе. Жилин Ю.Л., Коваленко В.В. Учен. зап. ЦАГИ. 1998. 29, № 3-4, с. 111-122. Рус.

Представлены уточненные методы расчета начальных данных для решения задачи о распространении волны звукового удара от произвольной компоновки летательного аппарата. Для слабовозмущенных течений предлагается использовать интегральные соотношения для возмущенных скоростей, что дает возможность вычислить асимптотическое решение по параметрам потока в непосредственной близости от тела. В тех случаях, когда линейная теория неприменима, проводится прямой расчет с использованием полных уравнений Эйлера с выходом в область установления асимптотичности.

25.01-01.261 Ударная волна и центрированная волна разрежения в газе Абея—Нобля. Брутян М.А., Ибра-

гимов У.Г., Меняйлов М.А. Прикл. мат. и мех. 2024. 88, № 6, с. 874-886. Рус.

Рассматриваются плоские сверхзвуковые течения невязкого газа, подчиняющиеся уравнению состояния Абея—Нобля (АН). Получены формулы, связывающие параметры течения данного газа до и после скачка уплотнения. Построено также решение задачи Прандтля—Майера о течении газа АН в центрированной волне разрежения. Найдены предельные значения углов отклонения вектора скорости в косой ударной волне и волне разрежения. Приведены сравнения с соответствующими решениями для совершенного газа.

25.01-01.262 Особенности инициирования и распространения детонации в цилиндрическом заряде из ТАТБ. Володина Н.А., Ерастов А.В., Забусов П.В., Кирихина М.Н., Панов К.Н., Титова В.Б., Ширшова М.О. Физика горения и взрыва. 2024. 60, № 5, с. 98-106. Рус.

Рентгенографическим методом исследован процесс распространения детонации в полукольцевых зарядах из пластифицированного ТАТБ со стальной оболочкой внутри при инициировании нормальной детонации по линии на наружной поверхности заряда. В экспериментах определена форма фронта детонационной волны рентгенографическим методом в разные моменты времени. В опытах зафиксировано влияние на форму детонационного фронта слоя из пластического взрывчатого вещества на основе гексогена, расположенного на поверхности основного заряда и имеющего скорость детонации на.

25.01-01.263 Возбуждение взрыва при схлопывании газовой полости в слое твердого взрывчатого вещества. Дубовик А.В. Физика горения и взрыва. 2024. 60, № 5, с. 118-124. Рус.

Рассмотрен случай удара по тонкому кольцевому слою несжимаемого вязкопластического материала с полостью, заполненной газом. Слой помещен в жесткую сборку типа пресс-формы и сдавливается поршнем с постоянной скоростью. Решение соответствующей прочностной задачи выполнено полуобратным методом с заданием стержневого типа течения среды и определяющих уравнений вязкопластического вещества. Полученные данные об ускоренном движении стенок полости рассматриваются как пример фокусировки (кумуляции энергии) в сходящемся потоке. Сведения о распределении температур при нагрузке на слой использованы для расчета параметров инициирования взрыва ударом по кольцевому заряду твердого взрывчатого вещества. Обсуждается возможность теплового воспламенения реакционноспособных веществ без участия саморазогрева и только вследствие диссипативного нагревания за счет энергии механического воздействия.

25.01-01.264 Структура неустойчивого детонационного фронта в жидких взрывчатых веществах. Сосиков В.А., Торунцов С.И., Рапова Д.Ю., Мочалова В.М., Уткин А.В., Колдунов С.А. Физика горения и взрыва. 2024. 60, № 6, с. 9-17. Рус.

Проведены эксперименты по исследованию неустойчивости детонационных волн в смесях нитрометана, тетранитрометана и ФИФО с инертными разбавителями посредством регистрации свечения детонационного фронта скоростью восьмиканальной шестнадцатикадровой электронно-оптической камерой НАНОГЕЙТ-22/16. В области неустойчивости детонации зарегистрировано неоднородное свечение детонационного фронта, которое связывается с турбулентным течением в зоне реакции. Формирование ячеистых структур с реакцией взрывчатого вещества в косых и поперечных волнах в исследованных составах не наблюдалось.

25.01-01.265 Описание ударного сжатия некоторых молекулярных кристаллов. Вирюкова М.А., Петров Д.В., Ковалёв Ю.М., Смирнов Е.Б. Физика горения и взрыва. 2024. 60, № 6, с. 67-73. Рус.

Предложен подход, позволяющий строить ударные адиабаты молекулярных кристаллов нитросоединений на основании данных по их изотермическому сжатию. С этой целью были построены уравнения состояния кристаллов тэна и ТАТБ. Представленный в работе сравнительный анализ эксперименталь-

ных данных по ударно-волновому сжатию простого кристалла тэна и результатов расчетов, проведенных с помощью предложенного подхода по пересечению давлений изотермического сжатия на ударную адиабату и построенного уравнения состояния тэна, показал, что экспериментальные и расчетные значения давления находятся в пределах погрешности эксперимента.

25.01-01.266 Причины прекращения проникания кумулятивной струи. *Власова М.А., Свирский О.В. Физика горения и взрыва.* 2024. 60, № 6, с. 110-117. Рус.

Согласно гидродинамической теории Лаврентьева глубина проникания кумулятивной струи определяется ее полной длиной. Однако, как показывает опыт практического применения кумулятивных зарядов, прекращение проникания обычно наступает раньше, чем струя израсходуется полностью. Для достоверного описания экспериментальных результатов вводятся параметры «эффективная длина» или «эффективная (критическая) скорость» кумулятивной струи, суть которых состоит в исключении из рассмотрения замыкающего участка струи, по различным причинам не участвующего в проникании. Значения эффективной скорости вводятся в расчетные методики как постоянные для конкретной пары материалов струи и преграды или в виде эмпирической зависимости от фокусного расстояния. Рассмотрена возможность разделения струи на эффективный и неработоспособный участки по физически обоснованным причинам без необходимости построения эмпирических зависимостей.

См. также **25.01-01.86, 25.01-01.87**

Звук в трубах с потоками

25.01-01.267 Влияние плотности газа на акустические характеристики турбулентной струи. *Власов Е.В., Каравосов Р.К. Учен. зап. ЦАГИ.* 1979. 10, № 1, с. 130-132. Рус.

Излагаются результаты экспериментального исследования акустических характеристик неизотермических воздушных струй и изотермических струй гелия и углекислого газа, истекающих в воздух. Рассматривается влияние плотности газа на звуковую мощность, характеристику направленности акустического излучения и спектр шума турбулентной струи. Показано, что наличие градиента плотности приводит к появлению дополнительных источников шума струи дипольного и квадрупольного типа. Отмечается, что при малых скоростях истечения струя переменной плотности является более эффективным генератором шума, чем струя постоянной плотности.

См. также **25.01-01.30, 25.01-01.31, 25.01-01.32**

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

См. **25.01-01.243, 25.01-01.244**

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

25.01-01.268 Подавление волн неустойчивости в стохастически возбужденной турбулентной низкоскоростной струе с использованием упреждающего управления. *Моралев И.А., Котвицкий А.Я., Бычков О.П. Теплофизика высоких температур.* 2024. 62, № 4, с. 632-636. Рус.

Впервые продемонстрирована возможность упреждающего управления когерентными структурами (волнами неустойчивости) в низкоскоростной стохастически возбужденной турбулентной струе при числах Маха $M=0.11$ и Рейнольдса $Re=1.2 \times 10^5$. Управляющие возмущения вводились в струю с помощью плазменного актуатора на основе барьерного разряда, размещенного на кромке сопла. Возбуждение струи осуществлялось естественными широкополосными возмущениями.

Сигнал для управления был получен с помощью термоанемометра, установленного внутри сопла. Получено снижение пульсаций скорости, ассоциированных с волнами неустойчивости, на 2 дБ по всей длине струи в области чисел Струхала $0.2 \leq Sh \leq 2$. Показано, что подавление возмущений приводит к некоторому уменьшению толщины сдвигового слоя на границе струи.

Авиационная акустика

25.01-01.269 Роль трения при формировании лобового сопротивления тел вращения в звуковом потоке газа. *Кузнецов Е.Н. Учен. зап. ЦАГИ.* 2002. 33, № 3-4, с. 62-66. Рус.

Приведены результаты расчетных исследований роли трения в формировании лобового сопротивления тел вращения в звуковом потоке газа. Показано, что оптимальные по волновому сопротивлению степенные тела с показателем степени образующей $n=0,3$ являются таковыми по лобовому сопротивлению в случае удлинения $\lambda \leq 3$, в диапазоне чисел M набегающего потока $0,97 \leq M \infty < 1,05$ и в области чисел Рейнольдса, отнесенных к диаметру мишеля носовой части, $Re_D \geq 0,5 \cdot 10^6$.

25.01-01.270 Результаты экспериментального исследования возможности снижения восприимчивости ламинарного пограничного слоя к акустическим возмущениям. *Литвинов В.М. Учен. зап. ЦАГИ.* 2003. 34, № 1-2, с. 68-75. Рус.

Приведены результаты экспериментального исследования, выполненного для плоской пластины в дозвуковой аэродинамической трубе при внешнем акустическом воздействии. Показана возможность уменьшения восприимчивости ламинарного пограничного слоя к акустическим возмущениям путем установки вблизи передней кромки пластины локальной неровности. Исследован вопрос о стабильности процесса подавления возмущений в условиях изменяющегося продольного градиента давления.

25.01-01.271 Газодинамические и акустические характеристики нетрадиционных схем реактивных сопел. *Власов Е.В., Лавружин Г.Н., Меркин Д.В., Попович К.Ф., Самохин В.Ф., Школин В.П. Учен. зап. ЦАГИ.* 2003. 34, № 3-4, с. 24-33. Рус.

Приведены результаты комплексных экспериментально-теоретических исследований тяговых и акустических характеристик традиционных круглых и плоских звуковых сопел, а также нетрадиционных плоских сопел со скошенным срезом и рядом вертикальных перегородок, установленных в выходном сечении сопла. Вертикальные перегородки предназначались для разбиения плоской струи на ряд струй с целью быстрого перемешивания с окружающей средой и снижения уровня шума. Показано, что в такой нетрадиционной схеме плоского сопла можно обеспечить снижение уровня шума по сравнению с эквивалентным круглым соплом. Приведена цена такого снижения уровня шума в виде соответствующего увеличения потерь тяги сопла. Показано, что такое сопло может быть достаточно эффективным средством снижения шума по сравнению с имеющимися мероприятиями по шумоглушению. Представлена картина течения в сверхзвуковых плоских струях исследованных схем.

25.01-01.272 Исследование акустического взаимодействия плоской реактивной струи за соплом с элементами планера летательного аппарата. *Кажан А.В., Самохин В.Ф., Сорокина А.А. Учен. зап. ЦАГИ.* 2023. 54, № 5, с. 17-29. Рус.

На этапе предварительного проектирования летательного аппарата с низким уровнем шума для проведения оценки эффективности применения новых технических решений целесообразно выполнение как расчетных, так и экспериментальных исследований. В работе представлены результаты численных и экспериментальных исследований модели специально спроектированной хвостовой части новой компоновки летательного аппарата с плоским сегментированным соплом. Выдвинуто предположение о появлении нового источника акустического излучения, приводящего к возрастанию уровней звукового давления в

области спектрального максимума шума плоской струи с экраном. В рамках поисковых исследований рассмотрено влияние различных элементов хвостовой части летательного аппарата на акустические характеристики плоской реактивной струи и предложены конструктивные мероприятия для улучшения акустических характеристик.

25.01-01.273 Экспериментальное исследование влияния геометрических модификаций основной опоры шасси на ее акустические характеристики. *Копьев В.Ф., Бычков О.П., Беллев И.В., Фараносов Г.А.* Учен. зап. ЦАГИ. 2024. 55, № 5, с. 11-27. Рус.

Представлены результаты параметрических экспериментальных исследований шума обтекания тематической модели основной стойки шасси в заглушенной камере УНУ АК-2. Отличительной особенностью модели является ее выполнение в виде трансформера, допускающего исследования шума отдельных элементов шасси в различных сочетаниях. По результатам испытаний, путем сравнения акустических характеристик различных конфигураций модели, выполнена оценка спектров излучения отдельных элементов и показано, в какой мере выполняется принцип аддитивности их вкладов в суммарный шум. В рамках реализуемых вариантов модели выбраны предпочтительные, с точки зрения суммарного шума, конфигурации.

25.01-01.274 Проблемы интеграции плоского сопла с компоновкой сверхзвукового пассажирского самолета с низким уровнем звукового удара. *Горбовской В.С., Зотов А.С., Кажан А.В., Лаврухин Г.Н., Лысенков А.В., Мазуров А.П., Малашевский С.А., Матяш А.В., Савельев А.А., Шенкин А.В.* Учен. зап. ЦАГИ. 2024. 55, № 6, с. 50-65. Рус.

Рассмотрено несколько видов компоновок двух сопел, расположенных на верхней поверхности фюзеляжа перспективного сверхзвукового пассажирского самолета (СПС), приведены результаты исследования аэрогазодинамических характеристик и картины течения в надфюзеляжной компоновке сопел, даны оценочные сравнения компоновок плоских сопел с системой шумоглушения и отклонения вектора тяги и круглого сопла для разных режимов полета самолета. Показано, что незначительные изменения геометрии могут приводить к существенным изменениям характеристик. Исходя из комплексного анализа полученных данных на основных режимах полета СПС в диапазоне чисел $M=0-1.7$ проведена оптимизация геометрии модифицированного сопла.

25.01-01.275 Сравнительный анализ методов разделения аэродинамического шума на тональную и широкополосную компоненты. *Беллев И.В., Бражжик А.В.* Учен. зап. ЦАГИ. 2024. 55, № 6, с. 66-86. Рус.

Аэродинамический шум, создаваемый различными источниками (винты, турбулентные струи, обтекание элементов планера), зачастую характеризуется наличием двух отдельных компонент — тональной и широкополосной, — механизмы генерации которых отличаются друг от друга. Как следствие, анализ результатов измерений аэродинамического шума требует разделения этих компонент, что может оказаться нетривиальной задачей. В литературе представлено значительное количество методов и алгоритмов разделения тональной и широкополосной компонент, однако их систематическое сравнение друг с другом для различных источников аэродинамического шума отсутствует. В данной работе проводится сравнение работоспособности и эффективности известных методов разделения тональной и широкополосной компонент применительно к шуму изолированного винта, шуму открытого ротора и шуму обтекания шасси с целью рационального выбора методов разделения для анализа экспериментальных данных аэроакустических испытаний.

25.01-01.276 Исследование перехода вращательно-го движения в колебательное при входе в атмосферу неуправляемого баллистического тела. *Кузман Г.Е., Попов В.А.* Учен. зап. ЦАГИ. 1970. 1, № 6, с. 82-90. Рус.

Рассматривается задача об определении условий перехода вращения относительно центра масс в колебания относительно центра масс при входе баллистического тела в атмосферу для плоского движения. Проведены анализ известных анали-

тических решений и подробное численное исследование для синусоидальной моментной характеристики. Выделены основные параметры и получены вероятностные оценки высоты и угла атаки тела в момент перехода вращения в колебания при равномерном распределении значений угла атаки на границе атмосферы.

25.01-01.277 Влияние акустических возмущений на пульсационные характеристики потока и на переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный. *Баринцов В.А., Гедьмин В.А., Лебедева О.В., Принцев В.К.* Учен. зап. ЦАГИ. 1975. 6, № 6, с. 59-65. Рус.

Приводятся результаты экспериментального исследования влияния акустических возмущений на степень турбулентности потока в рабочей части аэродинамической трубы и на положение области перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Показано, что влияние искусственно созданных возмущений проявляется на частотах, определяемых теорией гидродинамической устойчивости.

25.01-01.278 Взаимодействие акустической волны с трехслойной конической оболочкой. *Григорюк Э.И., Кузнецов Е.В.* Учен. зап. ЦАГИ. 1976. 7, № 2, с. 181-185. Рус.

Исследуется напряженное и деформированное состояние трехслойной конической оболочки, покоящейся в идеальной сжимаемой жидкости, под действием акустической волны давления, распространяющейся вдоль оси. Большее основание конуса закреплено в жестком коническом экране. Меньшее основание соединено с твердым телом конической формы, к которому на упругом элементе крепится масса, имитирующая оборудование и способная совершать возвратно-поступательное движение. Перемещения оболочки описываются нелинейными дифференциальными уравнениями не пологих трехслойных оболочек. Задача решается численно на ЭЦВМ. Определяются изгибные, мембранные напряжения, возникающие в оболочке, и ускорения жестких масс.

25.01-01.279 Влияние акустических возмущений на переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный при сверхзвуковых скоростях. *Баринцов В.А., Веденев В.В., Мозольков А.С.* Учен. зап. ЦАГИ. 1976. 7, № 3, с. 32-38. Рус.

Приводятся результаты экспериментального исследования перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный на пластине в зависимости от места установки пластины по длине рабочей части аэродинамической трубы. Исследование было проведено при числах $M=2, 3, 4$ и числе $Re_{1M}=(33-56)10^6$. Приводится описание модели образования и распределения возмущений по длине рабочей части. На основе этой модели получены формулы, аппроксимирующие с точностью 15% экспериментальные величины чисел Re начала и конца области перехода.

25.01-01.280 Качественный анализ влияния акустических характеристик самолета с ТРД на оптимальную программу взлета. *Шустов А.В.* Учен. зап. ЦАГИ. 1977. 8, № 6, с. 81-92. Рус.

Излагается алгоритм нахождения оптимальных, с точки зрения снижения эффективного уровня шума, законов изменения тяги двигателей самолета на участке набора высоты. Основными составляющими шума считаются шум реактивной струи газа и шум обтекания планера. Приводятся результаты численных расчетов оптимальных траекторий взлета.

25.01-01.281 Оценка точности приближенного метода определения суммарного уровня воспринимаемого шума (на основе статистического моделирования). *Шустов А.В.* Учен. зап. ЦАГИ. 1980. 11, № 4, с. 165-169. Рус.

На основе методов статистического моделирования проводится сравнение результатов определения суммарного уровня воспринимаемого шума по приближенному соотношению и по стандартному методу, учитывающему спектральный состав источников звукового излучения реактивных пассажирских самолетов с ТРД.

25.01-01.282 Экспериментально-теоретическое исследование течения в звуковом цилиндрическом эжекторе небольшой длины. *Поляков В.В., Пузырев В.М.*

Учен. зап. ЦАГИ. 1980. 11, № 5, с. 136-140. Рус.

Экспериментально и численно исследована газодинамическая картина течения двух потоков на критическом и некритическом режимах работы звукового цилиндрического эжектора. Газодинамическая картина течения составлена с помощью анализа теневых фотографий течения за срезом эжектора, распределений давлений в поперечных сечениях и по стенке обечайки, полученных экспериментально и численно методом, а также по изобарам, полученным в результате расчета.

25.01-01.283 К линейной теории возбуждения звука турбулентными потоками в условиях быстрой деформации поля течения. *Столяров Е.П.* Учен. зап. ЦАГИ. 1980. 11, № 6, с. 10-24. Рус.

Рассмотрено распространение малых возмущений в двумерных потенциальных течениях сжимаемого идеального газа. На основе линеаризованных уравнений пульсационного движения выведено неоднородное волновое уравнение относительно потенциала возмущений с известными объемными источниками ("диполями"), для которых даны аналитические выражения, сформулированы граничные условия для возмущений. Приведены аналитические выражения, описывающие солениоидальное поле возмущенной скорости. На простейших примерах (потенциальное обтекание цилиндра, сферы, осесимметричное течение в конфузоре) изучается роль объемных источников в возбуждении звука крупномасштабной турбулентностью.

25.01-01.284 Построение контура равного уровня шума, создаваемого реактивным пассажирским самолетом на местности при квазиустановившихся режимах полета. *Илларионов В.Ф., Шустов Л.В.* Учен. зап. ЦАГИ. 1982. 13, № 2, с. 87-95. Рус.

Излагается упрощенный метод расчета распределения эффективных уровней воспринимаемого шума на местности и характеристик контура равного уровня шума для квазиустановившихся режимов полета реактивного пассажирского самолета. Проводится сравнение результатов расчетов, полученных при использовании указанного метода и существующих методик расчета.

25.01-01.285 Оценка эффективности методов снижения шума струи. *Кузнецов В.М., Мунин А.Г.* Учен. зап. ЦАГИ. 1982. 13, № 6, с. 1-7. Рус.

Проведена оценка эффективности методов снижения шума струи, предусматривающих применение вдува воздуха в зону смещения, изменение начального профиля средних скоростей на срезе выхлопного сопла и использование многотрубчатого насадка. Результаты расчета соответствуют данным экспериментальных исследований.

25.01-01.286 Тела вращения с минимальным волновым сопротивлением при звуковой скорости течения газа. *Вышинский В.В., Кузнецов Е.Н.* Учен. зап. ЦАГИ. 1983. 14, № 5, с. 90-93. Рус.

Приведены результаты расчета при звуковой скорости набегающего потока волнового сопротивления носовых частей тел вращения с параболической образующей при различном относительном удлинении носовой части. Выявлены формы образующей для тел с минимальным волновым сопротивлением.

25.01-01.287 Параметрическое исследование мощности акустического излучения соосных струй. *Самохин В.Ф.* Учен. зап. ЦАГИ. 1984. 15, № 1, с. 55-64. Рус.

Предложена аналитическая модель для расчета акустической мощности соосных струй при различной начальной турбулентности внешней струи. Проведено параметрическое исследование акустической мощности изотермических и неизотермических соосных струй. Рассмотрена задача о выборе оптимальных параметров струй, обеспечивающих минимальную мощность акустического излучения.

25.01-01.288 Акустические характеристики моделей эжекторных глушителей шума струй. *Жулев Ю.Г., Мунин А.Г., Лебедева О.В., Потапов Ю.Ф.* Учен. зап. ЦАГИ. 1984. 15, № 1, с. 46-53. Рус.

Приведены результаты исследования акустических характеристик глушителя шума струи, выполненного в виде гофриро-

ванного сопла и эжектора со звукопоглощающими стенками. Экспериментально показано, что при определенном сочетании форм выходных сопел и размеров эжектора шум реактивной струи может быть снижен на величину, равную 13 дБ в области составляющих спектра, где шум максимален, как в стационарных условиях, так и в условиях полета до 270 км/час.

25.01-01.289 К акустическому подавлению автоколебаний в аэродинамической трубе с открытой рабочей частью. *Белопольская Л.Л., Брейтвейт В.К., Зосимов А.В., Тимофеев Е.В.* Учен. зап. ЦАГИ. 1985. 16, № 4, с. 65-83. Рус.

В открытой рабочей части аэродинамической трубы с диаметром сопла 1,2 м исследованы поля пульсаций скорости и давления. Обнаружено, что, несмотря на наличие в этой трубе специальных устройств для подавления низкочастотных пульсаций потока, в рабочей части при ряде значений средней скорости течения возникают автоколебания потока, приводящие к двух-, трехкратному росту интенсивности продольных пульсаций скорости. Для подавления этих колебаний поток в рабочей части трубы был подвергнут высокочастотному акустическому облучению, и в результате удалось снизить интенсивность пульсаций скорости и давления на автоколебательных режимах течения до уровня, соответствующего неавтоколебательным режимам.

25.01-01.290 Акустическое управление развитием возмущений в пограничном слое. *Бардаганов С.П., Довгаль А.В., Качанов Ю.С., Козлов В.В., Свищев Г.П., Симонов О.А., Щербakov В.А.* Учен. зап. ЦАГИ. 1986. 17, № 1, с. 41-46. Рус.

Исследована возможность управления течением в пограничном слое возбуждением в нем возмущений на частоте волн неустойчивости звуковыми колебаниями внешнего потока. Рассмотрена различная ориентация звукового источника относительно модели. Акустическое возбуждение заметно влияет на уровень пульсаций в пограничном слое в соответствии с фазой задаваемых колебаний.

25.01-01.291 Учет трения при выборе оптимальных форм носовых частей тел вращения в звуковом потоке. *Вышинский В.В., Кузнецов Е.Н.* Учен. зап. ЦАГИ. 1986. 17, № 3, с. 110-114. Рус.

Приведены результаты расчета волнового сопротивления, сопротивления трения и полного сопротивления носовых частей тел вращения с параболической образующей при звуковой скорости набегающего потока, числах $Re = (0,5-18)10^6$ и относительном удлинении $\lambda = 2-6$. Расчеты проводились как при фиксированном, так и при свободном положении точки перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Определена область чисел Re и значений X , в которой определение оптимальной формы нужно вести с учетом сопротивления трения и положения точки перехода.

25.01-01.292 Исследования по повышению эффективности звукопоглощающих конструкций в канале авиационного двигателя. *Соболев А.Ф.* Учен. зап. ЦАГИ. 1987. 18, № 6, с. 41-50. Рус.

Получены приближенные формулы, позволяющие определить направление максимального излучения данной моды относительно оси канала при различных соотношениях между скоростями потока в канале и в окружающей среде. Рассмотрены два характерных случая: 1) скорость потока в канале плавно переходит в скорость потока в окружающей среде, 2) между струей, вытекающей из канала, и спутным потоком существует тангенциальный разрыв скорости. Проведено экспериментальное исследование возможности увеличения затухания звука в канале за счет оптимизации затухания наиболее существенных мод. Наиболее существенные моды определялись по характеристикам излучения с использованием полученных приближенных формул.

25.01-01.293 Оптимизация параметров звукопоглощающей облицовки эжекторного глушителя шума струи. *Лебедева О.В., Науменко Н.* Учен. зап. ЦАГИ. 1988. 19, № 3, с. 110-114. Рус.

На примере простейшего эжекторного глушителя описывает-

ся метод выбора оптимальных параметров звукопоглощающей облицовки и проведена оценка максимально возможной при этом величины снижения шума.

25.01-01.294 Исследование структуры течения за лопатками поворотного колена аэродинамической трубы при акустическом воздействии. *Бардаганов С.П., Козлов В.В., Носырев И.П.* Учен. зап. ЦАГИ. 1988. 19, № 4, с. 45-51. Рус.

Экспериментально показано, что в турбулентных следах за поворотными лопатками аэродинамической трубы акустические колебания преобразуются в вихревые возмущения или когерентные структуры, сносящиеся вниз по потоку.

25.01-01.295 Акустический шум, излучаемый емкостью аэродинамической трубы импульсного действия. *Безменов В.Я.* Учен. зап. ЦАГИ. 1988. 19, № 4, с. 52-61. Рус.

Изложен метод отделения уровня акустического шума, излучаемого емкостью аэродинамической трубы импульсного типа, основанный на результатах испытаний в модельной установке.

25.01-01.296 О расчете шума вращения одиночного винта с лопастями произвольной формы. *Ганабов В.И., Мунин А.Г.* Учен. зап. ЦАГИ. 1989. 20, № 5, с. 43-52. Рус.

Рассмотрен аналитический метод расчета шума вращения винта в полете с лопастями произвольной формы в плане, в том числе и с лопастями саблевидной формы. Расчет основан на заранее заданных геометрических и аэродинамических характеристиках винтовентилятора, полученных в результате предварительного аэродинамического проектирования. Аэродинамическая нагрузка задается по всей поверхности лопасти: вдоль лопасти она определяется законом распределения циркуляции по радиусу, а в расчетных сечениях лопасти на каждом текущем радиусе — перепадом статического давления в виде импульса давления, который может иметь произвольную форму по длине хорды. Получено выражение для определения уровней акустического давления в ближнем и дальнем полях. Приведены результаты расчетов и дано сравнение расчета с экспериментом.

25.01-01.297 Снижение уровня фонового шума в рабочей части аэродинамической трубы при трансзвуковых скоростях потока. *Ереза А.Г., Микеладзе В.Г., Мунин А.Г., Столяров Е.П., Филиппова Р.Д., Шлягуин А.Н.* Учен. зап. ЦАГИ. 1990. 21, № 2, с. 10-19. Рус.

Представлены результаты экспериментальных исследований фонового шума в рабочей части аэродинамической трубы с перфорированными стенками. Определены основные источники этого шума при трансзвуковых скоростях потока, показаны пути снижения уровня фонового шума и эффективность использованных для этой цели способов.

25.01-01.298 Экспериментальное исследование тонального шума обтекания крыла при малых скоростях потока. *Мунин А.Г., Прозоров А.Г., Топоров А.В.* Учен. зап. ЦАГИ. 1990. 21, № 3, с. 28-38. Рус.

Анализируются причины появления тонального шума при обтекании крыла. Установлена взаимосвязь тональных составляющих шума и гидродинамических пульсаций в области перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный и в аэродинамическом следе. Отмечается распространение интенсивных гидродинамических пульсаций за пределы пограничного слоя и следа. Показаны различные возможности предотвращения интенсивных узкополосных гидродинамических и акустических возмущений. Отмечается, что частота и уровень рассмотренных возмущений зависят от числа Рейнольдса и угла атаки.

25.01-01.299 Исследование влияния ультразвукового акустического поля на отрыв пограничного слоя на профиле. *Жигулев С.В., Федоров А.В.* Учен. зап. ЦАГИ. 1990. 21, № 6, с. 50-57. Рус.

Приводятся результаты теоретического и экспериментального исследования влияния ультразвукового акустического поля в диапазоне частот 40—70 кГц на ламинарный отрыв в окрестности передней кромки сверхкритического крылового профиля при значениях угла атаки 7,3—7,7°. Эксперимент проведен в дозвуковой малощумной трубе при скоростях набегающего потока 33—71 м/с, что соответствует диапазону чисел Рейнольдса (0,9—

1,9)·10⁶. Основные измерения выполнены посредством локального бесконтактного однолучкового анемометра, регистрирующего одну компоненту скорости со знаком. В отсутствие акустического поля в этих условиях реализуется глобальный отрыв, занимающий 20% хорды профиля, а толщина сдвигового слоя сравнима с толщиной самого профиля. При наложении акустического поля размеры отрывной зоны существенно меняются, а при превышении интенсивностью ультразвукового поля порогового значения глобальный отрыв ликвидируется вовсе, так что толщина сдвигового слоя изменяется на порядок величины. Показано, что эффект носит явно выраженные гистерезисный и резонансный характеры. Приводятся результаты оценочного расчета эффективных частот воздействия, выполненного на основе линейной теории устойчивости пограничного слоя, и дается сравнение с экспериментом.

25.01-01.300 Влияние акустических возмущений на подъемную силу треугольных крыльев с острыми кромками. *Зосимов А.В., Филипенко А.А., Уханова Л.Н., Шаповалов Г.К.* Учен. зап. ЦАГИ. 1991. 22, № 5, с. 127-130. Рус.

Экспериментально исследовалась возможность акустического способа управления вихревой структурой, формирующейся при отрывном обтекании тонких треугольных крыльев с острыми кромками. Показано, что путем внешнего монохроматического звукового облучения определенной частоты и интенсивности можно существенно увеличить коэффициент подъемной силы треугольных крыльев при удлинении $\lambda > 2$ на закрытых углах атаки.

25.01-01.301 Изменение параметров вибрации конструкции летательных аппаратов при росте их акустического нагружения. *Попов П.А.* Акустический журнал. 2024. 70, № 5, с. 740-746. Рус.

Представлены результаты анализа экспериментальных данных, позволяющие выявить поведение параметров колебания конструкции при изменении амплитуды акустического давления с помощью введенного в рассмотрение понятия проводимости акустической вибрации. Подтверждается нелинейное поведение вибродвижения отклика конструкции разных отсеков ракеты и сегмента панели при нагружении их полем акустического давления. Обнаружены общие закономерности нелинейности, в частности, показано, что проводимость имеет тенденцию к понижению при росте акустической нагрузки, близкую в основном к степенной функции.

25.01-01.302 Особенности развития волнового поезда в продольном возмущении сверхзвукового пограничного слоя. *Косинов А.Д., Семенов Н.В., Питеримова М.В., Яцких А.А., Ермолаев Ю.Г., Смородский Б.В., Шамакова А.В.* Прикладная механика и техническая физика. 2024. 65, № 4, с. 63-82. Рус.

С использованием результатов экспериментов получены пространственно-временные распределения амплитуды контролируемых пульсаций и их частотно-волновые характеристики при слабонелинейном развитии волнового поезда в области стационарного следа внутри пограничного слоя плоской пластины при числе Маха $M=2$. Продольное стационарное возмущение порождалось парой боковых слабых ударных волн. Контролируемые возмущения генерировались в поток локальным высокочастотным тлеющим разрядом, расположенным внутри модели. Анализ развития контролируемых возмущений проводился на основе линейной теории гидродинамической устойчивости. Выявлены типичные резонансные триплеты волн. Обнаружено, что неоднородность течения подавляет механизмы взаимодействия контролируемых возмущений.

См. также **25.01-01.41, 25.01-01.49, 25.01-01.237, 25.01-01.239, 25.01-01.247, 25.01-01.250, 25.01-01.252, 25.01-01.254, 25.01-01.255, 25.01-01.256, 25.01-01.267, 25.01-01.268**

Колебания тел и структур в потоке, аэроупругость

25.01-01.303 Определение амплитуды волн

Толлина—Шлихтинга, порождаемых турбулентностью потока, с помощью сопряженных линеаризованных уравнений Навье—Стокса. Устинов М.В. Учен. зап. ЦАГИ. 2024. 55, № 6, с. 17-29. Рус.

Сформулирована задача для сопряженных линеаризованных уравнений Навье—Стокса, решение которой описывает генерацию нарастающих в пограничном слое на скользящем крыле собственных мод периодическими по размаху вихревыми возмущениями набегающего потока. Такое решение позволяет найти коэффициенты порождения волн неустойчивости сразу для широкого класса внешних возмущений. Это существенно снижает объем вычислений по сравнению с традиционным подходом, основанным на решении линеаризованных уравнений Навье—Стокса для каждой периодической по пространству и времени вихревой моды. Созданный метод применен для расчета генерации прямой волны Толлина—Шлихтинга в пограничном слое на плоской пластине двумерными вихревыми возмущениями.

25.01-01.304 Об обтекании носовой части крылового профиля звуковым потоком. Лифшиц Ю.В. Учен. зап. ЦАГИ. 1971. 2, № 4, с. 1-6. Рус.

Разработанная ранее численная схема метода установления применяется для расчета течения при звуковой скорости потока на бесконечности около трех серий симметричных профилей, каждая из которых характеризуется некоторым двухпараметрическим законом изменения кривизны. Полученные результаты являются основой для выяснения свойств трансзвуковых течений около профиля.

25.01-01.305 К теории обтекания профиля звуковым потоком. Игнатъев С.Г., Лифшиц Ю.В. Учен. зап. ЦАГИ. 1972. 3, № 4, с. 9-13. Рус.

Дается вывод полученной ранее эмпирической формулы, связывающей давление с местным углом наклона на хвостовой части профиля, обтекаемого звуковым на бесконечности потоком. С помощью этой формулы решается задача об оптимальной форме хвоста профиля.

25.01-01.306 Об обтекании тел вращения звуковым потоком идеального газа. Лифшиц Ю.В. Учен. зап. ЦАГИ. 1973. 4, № 6, с. 1-7. Рус.

Рассмотрены асимптотические свойства потока на больших расстояниях от конечных тел и приведены результаты числен-

ных расчетов течения газа со звуковой скоростью на бесконечности около двух различных тел вращения. С помощью обработки численных данных на основе формул асимптотической теории выявлено, начиная с каких расстояний она справедлива и насколько точно примененная разностная схема описывает течение газа вдали от тел вращения.

25.01-01.307 Влияние динамической жесткости ребер на колебания подкрепленной пластины. Ефимцов В.М. Учен. зап. ЦАГИ. 1988. 19, № 5, с. 147-154. Рус.

На основе теоретического анализа изучаются основные тенденции и закономерности в собственных колебаниях тонких пластин, связанные с влиянием упругоинерционных свойств подкрепляющих ребер. Формулируются условия, при которых низшая собственная частота подкрепленной пластины превышает первую частоту собственных колебаний ее свободно опертого изолированного пролета, а расстояние между узловыми линиями соответствующей формы колебаний не превышает шага подкрепляющих ребер.

25.01-01.308 Методика определения эквивалентов при испытаниях конструкции на усталость в акустическом поле. Мозжердва Н.А. Учен. зап. ЦАГИ. 1988. 19, № 5, с. 155-160. Рус.

Описана методика определения режимов испытаний конструкции на усталость в акустической камере, эквивалентных по накопленному повреждению расчетным режимам. Методика основана на представлении реакции конструкции на акустическое нагружение в виде суммы нормальных тонов колебаний. Расчетная акустическая нагрузка в характерные моменты полета считается кусочно-стационарным процессом с заданной спектральной плотностью. Показано, что продолжительность испытаний на эквивалентном режиме в общем случае зависит как от расчетных значений спектральной плотности нагрузки, так и от спектра реакции конструкции при испытаниях. Получены расчетные соотношения для оценки времени испытаний на эквивалентном режиме и эквивалентной наработки конструкции при испытаниях в акустической камере.

См. также **25.01-01.20, 25.01-01.56, 25.01-01.94, 25.01-01.238, 25.01-01.269, 25.01-01.272, 25.01-01.278, 25.01-01.283, 25.01-01.287, 25.01-01.288, 25.01-01.289, 25.01-01.290, 25.01-01.291, 25.01-01.292, 25.01-01.293, 25.01-01.294, 25.01-01.295, 25.01-01.302**

Акустика структурно неоднородных сред; Геологическая акустика

25.01-01.309 Сейсмоакустические методы оценки параметров волноводов арктического типа: теоретические аспекты и практические измерения. Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Шуруп А.С. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 78. Рус.

Арктика является одним из наиболее перспективных регионов Земли как с точки зрения поиска и освоения полезных ископаемых, так и в силу усиливающегося геополитического значения этого региона. Эффективные методы мониторинга арктического региона основаны на использовании сейсмоакустических полей, генерируемых индуцированными геодинимическими процессами в системе “литосфера—гидросфера—ледяной покров”. Эти волновые поля содержат полезную информацию о глубинных подземных структурах и гидроакустической обстановке в регионе, что позволяет разрабатывать технологии мониторинга больших пространств воды, покрытых слоем льда в Северном Ледовитом океане. На примере обработки экспериментальных данных, полученных при помощи геофонов и нового класса буев вмораживаемого типа, установленных на ледовом покрове и измеряющих вертикальную компоненту колебательной скорости, демонстрируется возможность оценки частотно-временных характеристик отдельных модовых, составляющих полного сейсмоакустического поля, формирующихся в ледовых условиях. Приводятся результаты экспериментальных работ, проведенных на Земле Франца-Иосифа, на Ладожском озере и Байкале. Описывается опыт использования как одиночных

автономных датчиков, так и протяженных антенн. Проведены теоретические и экспериментальные исследования особенностей распространения сейсмоакустических сигналов в условиях акватории, покрытой льдом в рамках стандартной математической модели арктического волновода в виде “литосфера—гидросфера—ледяной покров”. Показано теоретически и подтверждено в натуральных экспериментах, что интенсивные шумы льда могут быть полезны для оценки физических параметров ледового покрова. С использованием метода шумовой интерферометрии и геоакустических ледовых буев нового поколения показана возможность измерения групповой скорости изгибно-гравитационной волны в ледовом покрове вдоль достаточно протяженной трассы. Выполненная инверсия данных пассивного эксперимента показала согласие с результатами прямых контактных измерений. Развиваемая технология мониторинга физических параметров акватории при наличии ледового покрова в автономном — не требующем участия человека режиме, представляется перспективной, в особенности для применения в крайне суровых условиях Арктики. Содержание охватывает основные положения монографии авторов “Сейсмоакустика шельфовых морей”, принятой к публикации в 2024 году.

25.01-01.310 Определение индикаторов миграции газа в недрах вечной мерзлоты методами численного моделирования. Гусева Е.К., Голубев В.И., Петров И.Б. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 78-79. Рус.

Интенсивная эмиссия метана в атмосферу в прибрежных зонах Арктического региона может представлять опасность для окружающей среды из-за повышения температуры и усиления парникового эффекта. Дополнительно взрывной выброс газа может привести к разрушению инфраструктуры. В связи с этим появляется необходимость выявления газовых карманов, что может быть сделано, например, методами сейсмической разведки. Численное моделирование процесса распространения сейсмических волн в гетерогенных средах позволяет получить синтетический сейсмический сигнал от заданных моделей геологической среды. В работе строится макет слоистого многомерного песчаного грунта с криволинейными границами между пластами и различным числом газовых резервуаров. Изменение положения резервуаров моделирует распространение метана в вертикальном и горизонтальном направлениях. Для описания сейсмических волн в данных моделях используется определяющая система уравнений изотропной линейной теории упругости. Для ее численного решения в двумерной постановке применяется сеточно-характеристический метод. Источник сейсмического сигнала — точечный, со временной зависимостью импульс Рикера частотой 30 Гц. Проведенные расчеты позволяют зарегистрировать на дневной поверхности поверхностные и кратные волны. В работе большое внимание уделяется изучению трансформации отклика от группы резервуаров при увеличении их количества, оцениваются изменения времен пробега отдельных волн. Полученные результаты могут быть использованы для повышения достоверности интерпретации натуральных исследований.

25.01-01.311 Чувствительность поверхностной волны рэлеевского типа к изменению упругих параметров слоистых сред. Жарков Д.А., Жостков Р.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 79. Рус.

На основе модели плавного перехода (отсутствие потерь энергии при переходе поверхностной волны из одной среды в другую), проанализированы зависимости относительной амплитуды вертикальной компоненты смещений поверхностной волны рэлеевского типа от изменения скоростей продольных и поперечных волн в плоскостойких системах. Показано, что относительный вклад скоростей упругих волн существенно зависит от выбора модели и частоты. Для однослойной системы амплитуда наиболее чувствительна к изменению скорости продольных волн. Для двухслойной системы при изменении параметров верхнего слоя вклад обеих скоростей сопоставим. В случае же изменения параметров нижнего слоя вклад изменения скорости поперечных волн становится больше. Для трехслойной системы при изменении параметров среднего слоя относительный вклад в изменение амплитуды скоростей упругих волн существенно меняется в зависимости от частоты. Отсюда следует, что без априорных ограничений на параметры среды, некорректно говорить о том, что амплитуда вертикальной компоненты поверхностной волны чувствительна только к одному параметру среды, например, к скорости поперечных волн. Хотя на доминирующей частоте (на которой наблюдается наибольшая чувствительность) преобладает вклад скорости поперечных волн. При этом соответствующее значение доминирующей длины волны, как показано на примере пятислойной системы, зависит от контраста между слоями и лежит в пределах от 2 до 3 толщин слоя, что подтверждает более ранние исследования.

25.01-01.312 Экспериментальное исследование медленной релаксации скорости звука в карбонатной горной породе. Лебедев А.В., Манаков С.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 79-80. Рус.

Представлены результаты комплексных исследований медленной релаксации скорости звука в структурно-неоднородных материалах после вибрационного воздействия конечной амплитуды деформаций. Результаты получены на созданной для этих исследований экспериментальной установке, обеспечившей высокую точность измерений линейных и нелинейных акустических характеристик различных материалов. Приведены результаты экспериментального исследования релаксации в карбонатной горной породе, представляющей собой структурно-неоднородный материал со сложной системой внутренних связей. Измерения позволили определить зависимости параметров релаксации от амплитуды и времени возбуждения, а также

эффекты, обусловленные конечной амплитудой зондирующей волны. Дана интерпретация полученных результатов и отмечены эффекты, не получившие исчерпывающего объяснения.

25.01-01.313 Моделирование упругих волновых явлений сеточно-характеристическим методом на химерных расчетных сетках. Фаворская А.В., Кожемяченко А.А., Петров И.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 80. Рус.

Рассматриваются различные модификации сеточно-характеристического метода на Химерных (наложенных) расчетных сетках для решения задач о распространении пространственных динамических волновых процессов в сложных гетерогенных средах: прямые задачи сейсмической разведки, ультразвуковой дефектоскопии, неразрушающего контроля, вибраций железнодорожного полотна при движении поезда. Прямые задачи о расчете сейсмических и ультразвуковых волн могут служить как итеративный элемент решения обратной задачи методами инверсии, так и для генерации выборок, служащих для обучения нейронных сетей, решающих соответствующие обратные задачи. Использование Химерных (наложенных) расчетных сеток позволяет точно описывать границы и контактные границы сложной формы внутри области интегрирования: учитывать сложную форму геологических слоев, наличие пор и трещин, сложную форму железнодорожных рельсов, особенностей строения железнодорожных путей (учет характеристик шпал, демпферов, насыпи, осадочных пород, наличия каверн под насыпью). Суть данного класса численных методов заключается в том, что используются одна или несколько фоновых декартовых расчетных сеток, покрывающих всю область интегрирования. А вдоль границ и контактных границ сложной формы строятся тонкие Химерные расчетные сетки, которые могут быть как декартовыми повернутыми, так и криволинейными структурированными для описания границ произвольной формы. Между фоновыми и Химерными расчетными сетками осуществляется интерполяция. Таким образом, удается сэкономить вычислительные ресурсы, так как количество вычислительных операций и затрат оперативной памяти при использовании фоновых декартовых сеток существенно меньше, чем при использовании Химерных сеток.

25.01-01.314 Метод Зоммерфельда для расчета акустических волн от жесткого штампа. Фатьянов А.Г. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 80. Рус.

На основе решения задачи дифракции на сегменте зеркала развит новый метод расчета акустических волн от вибрирующего жесткого штампа. Решение ищется с помощью минимизации целевого функционала. Данный метод построения решения допускает бесконечное количество математически корректных решений. И только одно из них будет давать физически верное решение. Для выбора единственного решения в настоящее время повсеместно используется поведение решения в окрестности точки разрыва краевых условий (условия на ребре). В работе, следуя Зоммерфельду, для выбора единственного физически верного решения в минимизируемом функционале выражения приводятся к безразмерному виду. В итоге задача сведена к решению СЛАУ. Это позволило создать метод расчета волновых акустических полей для произвольного радиуса жесткого штампа. Применительно к вибрационным задачам получено решение для невесомого штампа в явном виде (в спектральной области). Это позволило создать метод устойчивого вычисления вибрационных волновых полей на телесеismicкие расстояния. Созданная параллельная программа позволяет проводить расчеты на персональных компьютерах. Приведены расчеты полного волнового поля для жесткого штампа. Проведено сравнение волновых полей для невесомого штампа и распределенной силы.

Исследование геологических сред с использованием сейсмического шума

См. 25.01-01.95

Акустика Земли и планет

25.01-01.315 Ионно-звуковые волны при взаимодей-

ствии хвостов метеороидов с ионосферой Земли. *Морозова Т.И., Попель С.И. Физика плазмы. 2024. 50, № 7, с. 788-793. Рус.*

Исследуется ионно-звуковая неустойчивость в хвостах метеороидов в результате их пролета в атмосфере Земли и приводятся условия, при которых она развивается. Развитие данной неустойчивости происходит в результате относительного движения плазмы хвостов метеороидов и пылевой плазмы ионосферы Земли. Пыль в свою очередь создает условия, когда данная неустойчивость может развиваться в ситуации приблизительно равных температур ионов и электронов, что наблюдается в рассматриваемой плазменно-пылевой системе. Показан механизм возбуждения ионно-звуковых волн в результате развития ионно-звуковой неустойчивости в хвостах метеороидов. Найден инкремент ионно-звуковой неустойчивости и характерные времена ее развития. Показано, что неустойчивость успевает развиться за времена пролета метеороидного тела в атмосфере Земли и образования метеороидного следа, которые имеют значения, много большие времен развития ионно-звуковой неустойчивости в рассматриваемой системе. Найден, при каких значениях волновых векторов и скоростей метеороидных тел предполагается развитие ионно-звуковой неустойчивости. Отмечается, что для возможных больших амплитуд волн можно ожидать выхода неустойчивости на нелинейный режим.

25.01-01.316 Исследование звуковых лучей в атмосфере Земли. Иларионов В.Ф., Кедров А.В. Учен. зап. КДГУ. 1985. 16, № 1, с. 126-129. Рус.

Рассматривается задача по определению формы звуковых лучей, распространяющихся в неизотермической атмосфере. В предположении о линейном изменении температуры по высоте получено решение поставленной задачи в явном виде.

Акустика в космологии и астрофизике

25.01-01.317 Крупномасштабные гидродинамические течения в средах с переменными термодинамическими характеристиками. Юденкова М.А., Климач-

ков Д.А., Петросян А.С. Физика плазмы. 2024. 50, № 6, с. 683-700. Рус.

Развита теория крупномасштабных течений во вращающейся астрофизической плазме в условиях нетривиальных свойств физической среды, которые не описываются классической гидродинамической теорией плазмы. В качестве первого шага теория развивается в рамках модели нейтральной жидкости для описания астрофизической плазмы, имея в виду последующее обобщение для учета магнитных эффектов. Такая модель имеет самостоятельное значение для изучения турбулентного динамики в областях звездообразования в галактиках, для изучения гидродинамических неустойчивостей в низкоионизированных дисках (poorly ionized), для описания меридиональных течений ниже конвективных зон в маломассивных звездах и на Солнце, а также для изучения осцилляций Солнца и звезд. Поэтому полученные результаты имеют более широкое приложение, например, для описания геофизических течений. Построение теории основано на двух ключевых идеях, развитых в плазменной астрофизике: использование модели мелкой воды с крупномасштабной сжимаемостью и использование модели двуслойной мелкой воды. В работе выведены уравнения двуслойной мелкой воды с учетом вращения и влияния сферичности течения на вращение, в которых в верхнем слое учитываются эффекты крупномасштабной сжимаемости. Для вращающейся системы получены дисперсионные соотношения для волн Пуанкаре в двуслойной мелкой воде с учетом крупномасштабной сжимаемости, при учете влияния сферичности на вращение в высокочастотном пределе получены аналогичные дисперсионные соотношения для волн Пуанкаре, в низкочастотном пределе получено дисперсионное соотношение для волн Россби. Показано, что дисперсионные соотношения для волн Пуанкаре с учетом сферичности течения имеют качественно иной вид, что приводит к трехволновым взаимодействиям волн Пуанкаре и взаимодействием двух волн Пуанкаре с волной Россби, которых не наблюдается в однослойном течении сжимаемой жидкости. Методом многомасштабных разложений исследованы все типы трехволновых взаимодействий для рассматриваемых течений.

Акустическая экология; Шумы и вибрации

25.01-01.318 Сравнение звуковых ландшафтов вблизи двух университетов г. Москвы. Римская-Корсакова Л.К., Канев Н.Г., Комкин А.И., Марголина И.Л., Каложная И.Ю. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 33. Рус.

Под термином “звуковой ландшафт” понимают акустическую среду, которую воспринимает, переживает и/или понимает человек в контексте (ISO/TS 12913-1-3: Acoustics—Soundscape, 2014—2019). Исследования звуковых ландшафтов включают в себя классические измерения объективных характеристик звуковой среды, а также анализ типов и состава слышимых звуков; численную оценку эмоциональных реакций человека на звуковую среду; анализ контекста, т.е. факторов, присущих человеку и среде, влияющих на восприятие звуков человеком. Подход “звуковой ландшафт” нацелен на создание благоприятной для человека звуковой среды в городах и населенных пунктах. В работе сравнивали звуковые ландшафты схожих по типу локаций, расположенных на территориях двух университетов. В аудиовизуальной экспертизе участвовали студенты вузов в количестве 25 человек на территории МГТУ им. Н. Э. Баумана (21.03.2024) и 30 человек на территории МГУ им. М. В. Ломоносова (28.03.2024). Результаты оценки представляли координатами точек на плоскости “Приятность-Событийность”. При схожих уровнях звукового давления, в локациях на территории МГУ значения координат “Приятности” были выше, а значения координат “Событийность” — ниже, чем таковые на территории МГТУ. Оценки громкости среды вблизи МГТУ были выше, чем вблизи МГУ. Также вблизи МГУ эксперты выставили более высокие оценки среде в целом. Ощущения безопасности и уверенности у экспертов вызывали звуковые ландшафты в трех из 4 локаций в окрестности МГУ, и только в одной из 4 лока-

ций вблизи МГТУ. Причины таких различий, полагаем, следует искать в соотношениях типов и состава слышимых звуков в разных локациях, а также аудиовизуальном восприятии самих локаций. Полученные данные выявляют информативность и целостность стандартного метода ISO/TS 12913 оценки звуковых ландшафтов; его доступность и удобство для непрофессиональных экспертов. Метод позволяет выявлять и количественно оценивать (взвешивать) неблагоприятные качества звуковой среды.

25.01-01.319 Экспериментальное и численное моделирование эксплуатационных воздействий на судовые амортизирующие и виброизолирующие конструкции с упругими элементами, выполненными с использованием эластомерных материалов. Волкова Н.В., Кузьменко П.А., Налимова Т.Г. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 34. Рус.

Рассмотрены основные виды воздействующих эксплуатационных нагрузок на амортизирующие и виброизолирующие конструкции (АВК). Представлены численные модели, используемые при проектировании и усовершенствовании АВК. На примере моделей АВК рассмотрены различные виды статических и динамических воздействий. Полученные характеристики и параметры в результате численного моделирования сопоставлены с характеристиками и параметрами АВК, определенными при экспериментальных исследованиях на стендовом оборудовании.

25.01-01.320 Проекционный метод обнаружения аномальных значений на датчиках в виброакустических задачах. Кутузов Н.А., Родионов А.А. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 34. Рус.

В задачах виброакустики распространенной проблемой при

проведении измерений с использованием набора вибродатчиков является отсутствие точной модели сигнала на приемниках. В определенных сценариях такое рассогласование может приводить к существенной деградации алгоритмов обработки. Так же в процессе эксплуатации измеряемого объекта определенные вибродатчики, например, из-за поломки могут выдавать некорректный результат, ухудшая качество измерений. На практике поиск таких “аномальных” датчиков, сигнал с которых не укладывается в используемую модель, представляет отдельную нетривиальную задачу. В настоящей работе для ее решения предложен оригинальный метод, основанный на использовании проекционных алгоритмов (впервые предложенных в теории адаптивных антенных решеток и оперирующих сигналами и шумовыми подпространствами принятой выборки сигнала). На модельных и экспериментальных данных показано, что предложенный подход позволяет детектировать и классифицировать такого рода “аномальные” приемники. Особенностью разработанного метода является совмещение численной конечно-элементной модели (КЭМ) исследуемого объекта и экспериментально получаемых данных. Результатами эксперимента и имитационного моделирования продемонстрирована эффективность предложенного метода в задаче локализации виброисточников. Отметим, что предложенный подход может быть полезен и в других приложениях, где при обработке полей решение обратной задачи происходит с использованием численной или аналитической модели.

25.01-01.321 Субъективная акустическая заметность бесшумного электротранспорта, оснащенного авас системой. Субботкин А.О., Тюрин А.С. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 34-35. Рус.

представлены результаты натуральных и лабораторных психоакустических экспериментов по оценке субъективной акустической заметности бесшумных автотранспортных средств и микроэлектротранспорта при включенной и выключенной AVAS системе. Установлены зависимости субъективной заметности от тембральных и динамических характеристик излучаемого AVAS сигнала, а также от характеристик фонового шума окружения. Предложен адаптивный алгоритм работы AVAS системы, обеспечивающий постоянный уровень субъективной акустической заметности, вне зависимости от времени суток, характера фонового шума окружения и скорости движения транспортного средства.

25.01-01.322 Исследование глушителей шума на нелинейном режиме и при наличии скользящего потока. Матасова О.Ю., Комкин А.И., Быков А.И. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 35. Рус.

Приведены результаты экспериментального исследования акустических характеристик глушителей шума в импедансной трубе методами четырех микрофонов. Рассмотрены особенности проведения акустических измерений и последующей обработки результатов измерений с целью получения потерь передачи ТЛ исследуемых глушителей. Получены зависимости потерь передачи от уровня звукового давления в импедансной трубе и скорости скользящего потока.

25.01-01.323 Измерение и расчет потерь передачи диссипативных глушителей шума. Быков А.И., Комкин А.И., Карнаухова Л.С. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 35. Рус.

Приведены результаты исследования акустических характеристик диссипативных глушителей шума экспериментальным и расчетным путем. Рассматривались три конфигурации такого рода глушителей разной длины и поперечного сечения, но с одинаковым объемом. Измерение характеристик глушителей осуществлялось в импедансной трубе методом четырех микрофонов и двух нагрузок. Экспериментальные результаты сравнивались с результатами численных расчетов, получаемых на основе конечно-элементного моделирования.

25.01-01.324 Исследование акустического экрана с цилиндрической насадкой на верхней кромке. Мусатова Р.Н., Комкин А.И. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 35. Рус.

Приведены численные расчеты в программной среде “COMSOL Multiphysics” акустических характеристик экрана

с цилиндрической насадкой на верхней кромке. Представлены картины распределения звукового давления в расчетной области вокруг экрана. Получены зависимости вносимых потерь экрана с 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.

25.01-01.325 Экспериментальные исследования рекомендуемых ИСО 15186 2 критериев выполнения измерений при определении звукоизоляции строительных изделий с помощью интенсивметрии в натуральных условиях. Цукерников И.Е., Невенчанная Т.О., Щурова Н.Е. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 36. Рус.

Приводятся результаты исследований по оценке применяемых в международном стандарте ИСО 15186-2 критериев годности акустических условий измерений. Оценена возможность практического применения требования к показателю звукового поля давление — интенсивность на измерительной поверхности, являющегося одним из критериев годности звукового поля в приемном помещении, а также критерием пригодности для измерений выбранной измерительной поверхности. В области применения стандарта указано, что метод интенсивметрии предназначен для измерений при наличии косвенной передачи звука в приемное помещение. Исследования выполняли, используя в качестве приемного помещения комнату №325 Акустического корпуса НИИСФ РААСН. Определяли звукоизоляцию двери в комнату (клееная фанерная, размер с коробкой 1,1×2,4 м), над которой расположено светопрозрачное окно размером 0,55×1,1 м, являющееся источником косвенной передачи звука. Показано, при наличии косвенной передачи требование, установленное в ISO 15186-2, к показателю звукового поля не выполняется. Вместе с тем, сопоставление значений фактической звукоизоляции двери, определенных по ИСО 15186-2 и ИСО 16283-1, использующего измерения уровней звукового давления, показало, что в ряде 1/3-октавных частотных полос, в которых требование к показателю звукового поля не выполняется, получили незначимое (в пределах 3 дБ) расхождение. Это свидетельствует о необязательности выполнения рассматриваемого требования к показателю звукового поля и связано с математическим свойством интенсивметрического метода: при усреднении нормативной интенсивности звука по измерительной поверхности вклад поля помехи, источники которой расположены вне измерительной поверхности, обнуляется.

Шумы и вибрации в воздушной среде

25.01-01.326 Влияние акустических резонансов корпуса на механизм шумообразования диаметрального вентилятора. Голубев А.Ю., Коровкин А.Г., Кузнецов В.В. Учен. зап. ЦАГИ. 2002. 33, № 1-2, с. 133-140. Рус.

Исследуется влияние акустических резонансов корпуса на механизм шумообразования высоконапорного диаметрального вентилятора. Показано, что при совпадении первой лопаточной гармоники рабочего колеса с частотой акустического резонанса корпуса происходит существенное увеличение шума, излучаемого вентилятором. Предложена расчетная оценка частот акустических резонансов корпуса, которая может быть учтена при оптимальном (с точки зрения минимизации излучаемого дискретного шума) согласовании геометрии проточной части корпуса с числом лопаток и частотой вращения рабочего колеса.

25.01-01.327 Исследование акустической заметности транспортных средств, движущихся с постоянной скоростью. Субботкин А.О., Кузнецов Г.Н., Талачев Е.В., Романенко Г.А., Тюрин А.С. Акустический журнал. 2024. 70, № 5, с. 757-764. Рус.

Представлены результаты экспериментов по оценке субъективных показателей акустической заметности приближающегося с постоянной скоростью транспортного средства. Субъективные показатели заметности определялись экспертами как расстояние между транспортным средством и экспертом в тот момент, когда эксперт услышал (зафиксировал) звук приближающегося автомобиля, а также как время подъезда автомобиля к эксперту в этот момент. Субъективные показатели замет-

ности сопоставляются с измеренными по методике из правил ООН № 138 объективными параметрами шума от автомобиля — уровнем звукового давления, его частотной характеристикой, а также уровнем звука. Исследование представляется актуальным в связи с проблемой безопасности движения электрифицированных транспортных средств, обладающих малой шумностью, к которым относятся, в частности, электромобили, электроскутеры и электросамокаты. Приведены первые результаты исследования проблемы увеличения заметности для пешеходов маломощных транспортных средств без нанесения ущерба акустической экологии городов и пригородов.

25.01-01.328 Звуковые ландшафты в городской среде: субъективное восприятие и объективный контроль. Римская-Корсакова Л.К., Канев Н.Г., Комкин А.И., Шуляков С.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 6, с. 921-932. Рус.

Международная организация по стандартизации (ISO) ввела термин “звуковой ландшафт”, определяющий “акустическую среду, воспринимаемую или понимаемую человеком/людьми в контексте”, а также предложила меры для количественной оценки эмоциональных реакций человека на звуковую среду. Целью данной работы была верификация стандартного метода ISO, в котором эмоциональные реакции человека оценивали координатами точек на плоскости “Приятность-Событийность”, где координата “Приятности” оценивала то, насколько среда была приятной для субъекта, т.е. свойства субъекта, а координата “Событийности” — то, насколько среда была событийной, т.е. свойства среды. Для получения координат точек проводили аудиовизуальную экспертизу среды, вместе с которой измеряли акустические характеристики и используемые в психоакустике показатели субъективных качеств звуковой среды. Характеристики и показатели сопоставляли с координатами “Приятности” и “Событийности”. Показано, что для человека звуковая среда могла быть вполне приятной, когда физические характеристики превышали установленные санитарные нормы или, наоборот, неприятной, когда физические характеристики не превышали такие нормы. Полученные результаты подтвердили обоснованность, информативность и целостность метода оценки звуковых ландшафтов, а также его доступность для непрофессиональных экспертов. Предложенные меры могут быть использованы для инженерного проектирования благоприятной звуковой среды городских территорий.

См. также 25.01-01.49, 25.01-01.209, 25.01-01.216, 25.01-01.244, 25.01-01.275, 25.01-01.281, 25.01-01.284, 25.01-01.296, 25.01-01.297, 25.01-01.298, 25.01-01.301

Подводные шумы и вибрации

См. 25.01-01.212

Биологические эффекты шумов и вибраций

См. 25.01-01.168, 25.01-01.327, 25.01-01.328

Воздействие шумов и вибраций на сооружения и технику

25.01-01.329 Согласование по отражению звука эластомерного покрытия и металлических конструкций. Клячкин А.В. *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2024, № 1(407), с. 124-129. Рус.

Объект и цель научной работы. Исследование акустического поля, возникающего при падении плоской звуковой волны на двухслойную (эластомерное покрытие — металлический слой) систему, находящуюся в водной среде. Изучение возможности согласования с целью минимизации отражения. Материалы и методы. Используются аналитические методы исследования взаимодействия акустических и упругих волн. Эластомерное покрытие рассматривается в рамках модели водоподобной среды с эффективным плотностью и скоростью распространения волн. Основные результаты. Найдены аналитические выражения для согласующей эффективной скорости, при которой отражение звука отсутствует. Выполнены численные расчеты по

исследованию чувствительности отражения от точности согласования. Заключение. Минимизация коэффициента отражения для слоистой среды путем согласования импедансов возможна. Однако она чувствительна к изменениям внешних факторов, влияющих на точность согласования. Ключевые слова: уравнение Гельмгольца, плоская волна, акустический импеданс, коэффициент отражения, эластомерное покрытие.

25.01-01.330 Снижение вибрации — путь к повышению комфорта на круизном судне. Белов И.М., Васильев Н.В., Зенков С.Г. *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2024, № 2(408), с. 122-135. Рус.

Объект и цель научной работы. Исследуются вибрационные процессы при движении круизного судна с винторулевыми колонками по стесненному извилистому фарватеру. Анализируются причины нежелательных вибрационных явлений, влияющих на комфорт пассажиров, для выработки рекомендаций по их устранению или снижению до приемлемого уровня. Материалы и методы. В работе использованы материалы комплексных натурных испытаний круизного судна с двумя винторулевыми колонками (ВРК). Применяются традиционные методы анализа вибрации и совместный анализ параметров вибрации корпусных конструкций с параметрами движения судна и работы его движителей. Основные результаты. Описано возникновение и развитие нежелательных вибрационных явлений при условиях и режимах эксплуатации круизного судна, характерных для внутренних водных путей России. Выявлены основные причины нежелательных вибрационных явлений на круизном судне с двумя ВРК. Рассмотрены пути снижения вибрации в местах пребывания пассажиров в зависимости от причин конкретных вибрационных явлений. Показана роль комплексных натурных испытаний как одного из методов решения наукоемких задач, возникающих при сдаточных испытаниях или в ходе эксплуатации судна. Заключение. При эксплуатации круизного судна в определенных условиях возникают вибрации, опасные для судна, но вызывающие дискомфорт у пассажиров. В рамках комплексных натурных испытаний на круизном судне выявлены внутренние и внешние источники вибрации. Если первые источники вполне традиционны и снижаются конструктивными мероприятиями, то вторые имеют более сложную природу и методы борьбы с ними также более сложны. Помочь устранить проблему может интеллектуальная система управления движением судна. Авторы убеждены, что для эффективного выявления и решения указанных проблем комплексные испытания по индивидуально разработанной программе и методике следует включать в программу приемо-сдаточных испытаний речных круизных судов, особенно в случае предъявления повышенных требований к комфорту. Ключевые слова: круизное судно, винторулевая колонка, обитаемые помещения, вибрация, комплексные натурные испытания.

25.01-01.331 Компоновка виброактивного оборудования на многоцелевых атомных подводных лодках военно-морских сил США типа «Вирджиния». Савенко В.В., Попков С.В. *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2024, № 3(409), с. 138-144. Рус.

Объект и цель научной работы. Рассмотрены основные особенности компоновки виброактивного оборудования в отсеках строящихся серийно многоцелевых атомных подводных лодок (АПЛ) ВМС США типа «Вирджиния». Материалы и методы. Анализ доступных материалов по особенностям компоновки виброактивного оборудования атомных подводных лодок типа «Вирджиния», позволившей эффективно снизить его вклад в шумность АПЛ. Основные результаты. Подтверждено применение компьютерных методов при компоновке виброактивного оборудования, а также при акустическом совершенствовании фундаментных конструкций оборудования. Заключение. Установлено, что численное моделирование с использованием метода конечных элементов позволило минимизировать влияние резонансов фундаментных конструкций оборудования и обеспечить высокую эффективность средств снижения вибрации и шума, что способствовало достижению низких уровней излучаемого АПЛ шума, особенно на малых скоростях хода. Ключевые слова: акустические характеристики, компоновка виброактивного оборудования, АПЛ типа «Вирджиния».

25.01-01.332 Малогабаритные средства вибродемп-

фирования толстостеной пластинчатой конструкции. **Кирпичников В.Ю., Савенко В.В., Смольников В.Ю.** Труды Крыловского государственного научного центра. 2024, № 4(410), с. 186-192. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом является толстостеновая судовая конструкция. Цель исследований — определение эффективности уменьшения уровней вибрации конструкции средствами вибропоглощения. Материалы и методы. Измерение спектров вибрации конструкции без средств вибропоглощения и при их наличии. Основные результаты. Получены величины эффективности армированных вибропоглощающих покрытий (АВП) и резонансных полосовых вибропоглощителей (РПВ). Заключение. Показана возможность существенного уменьшения уровней низкочастотного резонансного максимума изгибных колебаний шпации конструкции частотно настроенными резонансными полосовыми вибропоглощителями с малой в сравнении с АВП массой, снижающими вибрацию конструкции только на более высоких резонансных частотах. Ключевые слова: толстостеновая конструкция, вибрация, средства вибропоглощения, армированные вибропоглощающие покрытия, резонансные полосовые вибропоглощители, эффективность.

25.01-01.333 Повышение эффективности мягкого вибропоглощающего покрытия с воздушными полостями. **Кирпичников В.Ю.** Труды Крыловского государственного научного центра. 2025, № 1(411), с. 152-157. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом является мягкое вибропоглощающее покрытие (ВПМ) малой толщины. Цель исследования — экспериментальное определение эффективности заполнения воздушных полостей полимерной пленкой или армированным вибропоглощающим покрытием на ее основе. Материалы и методы. Сравнение измеренных частотных спектров вибрации демпфируемой пластины при отсутствии и нахождении в воздушных полостях ВПМ дополнительных средств вибропоглощения. Основные результаты. Приведены экспериментальные величины эффективности уменьшения уровней вибрации пластины мягким покрытием с последовательно установленными в полости дополнительными средствами вибропоглощения в сравнении со случаем их отсутствия. Заключение. Показана практически нулевая эффективность полимерной пленки и высокая эффективность армированного вибропоглощающего покрытия на ее основе. Ключевые слова: демпфируемая пластина, мягкое вибропоглощающее покрытие, воздушные полости, дополнительные средства вибропоглощения, полимерная пленка, армированное вибропоглощающее покрытие, эффективность.

25.01-01.334 Опыт применения средств виброизоляции для снижения технологических и пусковых вибрационных нагрузок магистральных насосных агрегатов. **Некрасов В.А.** Труды Крыловского государственного научного центра. 2025, № 1(411), с. 147-151. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом исследования являются магистральные нефтеперекачивающие агрегаты. Цель работы — экспериментальное подтверждение эффективности применения виброкомпенсирующих систем в составе магистральных насосных агрегатов (МНА). Материалы и методы. Основными элементами виброкомпенсирующей системы являются: общая рама для насоса и электродвигателя, амортизаторы, сильфонные или резинокордные компенсаторы, упругая муфта, гибкие вставки в трубопроводы. Исследования характеристик МНА выполнялись с использованием портативного двухканального анализатора динамических сигналов типа НР3569А в период пусконаладочных работ и подконтрольной эксплуатации. Основные результаты. Выполнена экспериментальная оценка эффективности применения системы средств виброизоляции для снижения технологической вибрации и пусковых нагрузок подшипниковых узлов магистральных насосных агрегатов. Заключение. Показано, что оснащение МНА виброкомпенсирующими системами позволяет многократно (в десятки раз) уменьшить уровни вибрации, передаваемой на фундамент, значительно снизить пусковые вибрационные нагрузки, воспринимаемые подшипниковыми узлами, и, следовательно, повысить надежность работы агрегатов. Ключевые слова: амортизатор, вибрация, виброскорость, компенсатор, магистральный насосный агрегат, пусковые характеристики,

спектр.

25.01-01.335 Упругие связи в формировании структуры и динамики механических систем в условиях вибрационных нагружений силовой природы. **Елисеев А.В., Кузнецов Н.К., Миронов А.С.** Труды МАИ. 2024, № 4(137), с. <https://trudymai.ru/published.php?ID=181873>. Рус.

Развивается методология учета дополнительных кинематических связей в задачах оценки, коррекции и формирования динамических состояний исполнительных органов технологических и транспортных машин, работающих в условиях интенсивных нагружений. Цель исследования заключается в разработке семейства математических моделей в виде механических колебательных систем, в которых варьирование жесткости упругих элементов позволяло бы формировать множество динамических состояний. В качестве расчетных схем вибрационных взаимодействий элементов технических объектов используются механические колебательные системы, образованные твердыми телами, взаимодействующими с учетом упругих связей. Ставится задача разработки математических моделей механических колебательных систем, допускающих преобразования в виде сочленений, представляющих собой предельный переход значений жесткостей упругих элементов к бесконечности, с целью определения оптимальных структурных и динамических особенностей технических объектов. Используются методы теоретической механики, дифференциальных уравнений, теории колебания, интегральных уравнений и методология структурного математического моделирования, основанная на сопоставлении механическим колебательным системам эквивалентных в динамическом отношении структурных схем система автоматического управления. Разработан подход к учету последовательных сочленений в относительных поступательных и вращательных формах движений. Доказана теорема о независимости результата сочленений от очередности последовательного применения частичных сочленений в формах поступательных и вращательных относительных движений. Показано, что сочленения, рассматриваемые как процесс увеличения жесткости взаимодействия двух твердых тел, проявляются неограниченным ростом одиночных собственных частот и частот динамического гашения колебаний соответствующих координат системы. Разрабатываемая методология построения математических моделей, в частности, ориентирована на конструктивно-технические решения в области виброиспытательного оборудования для оценки и формирования динамических состояний лонжеронов лопастей вертолетов.

Структурная акустика и вибрации

25.01-01.336 Гидравлические и виброакустические испытания макета регулируемого дроссельного устройства на основе непроницаемой эластичной мембраны. **Куклин М.В.** Труды Крыловского государственного научного центра. 2024, № 3(409), с. 102-108. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом исследования является макет регулируемого дроссельного устройства (РДУ) на основе непроницаемой эластичной мембраны. Цель работы — экспериментальные исследования гидравлических и виброакустических характеристик макета РДУ. Материалы и методы. В качестве средства точной настройки гидравлического сопротивления, снижения гидродинамического шума и вибрации в трубопроводных системах вместо дроссельных устройств с металлосмесными регулирующими элементами применено РДУ с дросселирующим элементом на основе непроницаемой резиновой мембраны. Испытания проводились в лабораторных условиях с помощью виброакустической аппаратуры фирмы Brüel & Kjær. Моделирование картины вихреобразования обтекания проточных частей РДУ и дроссельной шайбы выполнено с помощью компьютера. Основные результаты. Экспериментально показана возможность снижения вибрации трубопровода путем установки макета РДУ на основе непроницаемой эластичной мембраны вместо дроссельных шайб, а также возможность регулировки расхода рабочей среды в широком диапазоне без слива рабочей среды из трубопровода. Заключение. Показано, что предлагаемое РДУ является перспективным малощумным дроссельным устройством, которое целесообразно

применять разработчикам виброактивных трубопроводных систем при проектировании судов и кораблей, а также заводо-строителям для обеспечения необходимых требований по уровням вибрации и шума трубопроводных систем и оборудования. Ключевые слова: регулируемое дроссельное устройство, дроссельная шайба, гидравлическое сопротивление, вибрация, шум.

См. также 25.01-01.95, 25.01-01.238, 25.01-01.287, 25.01-01.288, 25.01-01.289, 25.01-01.290, 25.01-01.291, 25.01-01.292, 25.01-01.293, 25.01-01.294, 25.01-01.295, 25.01-01.326

Поглотители слабых и интенсивных акустических волн

25.01-01.337 Кинематическое возбуждение резонансного полосового вибропоглотителя вне геометрического центра. *Кирпичников В.Ю., Петров А.А.* Труды Крыловского государственного научного центра. 2024, № 2(408), с. 116-121. Рус.

Объект и цель научной работы. Анализ резонансных частот изгибных колебаний полосового вибропоглотителя и их уровней на кромках при его кинематическом возбуждении вне геометрического центра. Материалы и методы. Вычисления частотных спектров вибрации, форм и уровней колебаний на резонансных частотах при возбуждении гармоническим виброперемещением кромки отверстия в месте соединения вибропоглотителя с демпфируемой конструкцией. Основные результаты. Установлены длины участков вибропоглотителя с различным влиянием на его вибрационные параметры. Заключение. Определено соотношение длин участков, при котором упрощается настройка низшей резонансной частоты вибропоглотителя на частоту повышенной вибрации демпфируемой конструкции. Ключевые слова: резонансный полосовой вибропоглотитель, вибрационные параметры, зависимость от соотношения длин участков.

25.01-01.338 Акустическое проектирование атомных подводных лодок Франции. *Савенко В.В., Чижов В.Ю.* Труды Крыловского государственного научного центра. 2024, № 2(408), с. 136-150. Рус.

Объект и цель научной работы. Рассмотрена методология акустического проектирования атомных подводных лодок (АПЛ) Франции. Материалы и методы. Обзор работ по развитию методов и средств акустического проектирования АПЛ Франции в обеспечение достижения заданных акустических характеристик создаваемых АПЛ, прежде всего уровней излучаемого шума. Основные результаты. Определены основные особенности методов и средств акустического проектирования многоцелевых и ракетных АПЛ, характерные для подводного кораблестроения Франции. Заключение. Установлено, что разработанная французскими специалистами методология акустического проектирования АПЛ обеспечивает достижение заданных уровней шума и помех работе гидроакустических стан-

ций при ограниченном водоизмещении и уменьшенных размерах АПЛ. Это облегчает решение задачи повышения акустической скрытности и боевой эффективности АПЛ при ограниченных финансовых возможностях страны. Ключевые слова: атомные подводные лодки, акустическое проектирование, снижение шумности и помех работе гидроакустических станций.

См. также 25.01-01.51, 25.01-01.52, 25.01-01.162, 25.01-01.285, 25.01-01.287, 25.01-01.288, 25.01-01.332, 25.01-01.333, 25.01-01.334, 25.01-01.335

Шумоизоляция

25.01-01.339 Вентилируемая периодическая структура для пассивного шумоподавления в воздуховодах. *Муравьев Я.А., Бикмухаметов Ф.Р., Васильев Е.О., Глазко Л.А., Поздеев Д.А., Красиков С.Д., Красикова М.В., Павлюк А.С.* Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 30. Рус.

Традиционные системы пассивной шумоизоляции обычно представляют собой громоздкие конструкции, не обеспечивающие вентиляцию воздуха, что имеет решающее значение для многих инженерных применений, в том числе для вентиляционных каналов. Данная работа посвящена разработке шумопоглощающих метаматериалов, состоящих из прямоугольных пластин с переменным расстоянием между ними. Такие структуры представляют собой двумерный аналог так называемых канальных акустических черных дыр, которые обычно представляют собой одномерные структуры. Показано, что разработанные метаматериалы обеспечивают эффективную шумоизоляцию в целевом диапазоне 1000–1500 Гц и при этом не препятствуют распространению потока воздуха. Полученные результаты обладают широкими перспективами в строительной отрасли, в частности, для разработки бесшумных вентиляционных каналов.

См. также 25.01-01.162, 25.01-01.287, 25.01-01.288, 25.01-01.337, 25.01-01.338

Активные методы подавления шума

25.01-01.340 Определение минимального числа компенсирующих монополюсных источников, требуемых для подавления интегрального уровня излучения. *Фикс И.Ш., Фикс Г.Е.* Акустический журнал. 2024. 70, № 5, с. 795-800. Рус.

С использованием алгоритмов многомерной оптимизации, численно решена задача определения минимального числа компенсирующих монополюсных источников, расположенных в свободном пространстве на двух сферических поверхностях, окружающих первичный источник, и обеспечивающих заданную величину подавления его интегрального уровня излучения.

См. также 25.01-01.268, 25.01-01.331

Акустика помещений; Музыкальная акустика

25.01-01.341 О некоторых особенностях органов, важных для акустического и архитектурного проектирования концертных залов. *Кравчун П.Н.* Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 17. Рус.

Рассматриваются основные особенности органов, имеющие важное значение для выбора архитектурно-планировочного и акустического решений концертных залов. Среди них — число регистров и мануалов (Werk'ов) инструмента, стиль инструмента, влияющие на пространственную схему инструмента, высотность «базовых» регистров, которая определяет общие габариты органа, зависящие также от предполагаемых объема и вместимости зала, расположение инструмента в зале, а также расположение пульта органа относительно комплекса труб органа, оркестра и хора, коэффициент звукопоглощения проспекта органа и др. Приводятся примеры удачных и неудач-

ных пространственных решений органов и концертных залов с органами.

25.01-01.342 Акустические условия нового концертного зала на 1650 мест в Геленджике. *Лившиц А.Я., Нечаев А.А., Юренко А.Ю., Ширгина Н.В.* Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 17. Рус.

В Геленджике введен в эксплуатацию зрительный зал многофункционального назначения со звукоусилением на 1650 мест. По технологическим соображениям план зала был принят в виде полукруга со сценой по его линейной стороне. Для исключения негативных акустических эффектов было предложено разместить на стенах зала звукорассеивающие и звукопоглощающие элементы, что и было реализовано. Проведенные акустические измерения показали эффективность этих решений. В

зале удалось избежать фокусировок звука в зоне сцены. Кроме того, удалось получить звуковое поле с высокой степенью равномерности. Измеренное время реверберации сопоставлено со значениями, полученными в результате компьютерного моделирования. Проанализированы расчетные и измеренные значения акустических параметров. В работе приведены объемно-планировочные решения зала, результаты акустического моделирования со звукоотражающими элементами на стенах и без них.

25.01-01.343 Оптимизация акустических параметров во время проведения симфонических концертов на сцене театра "Новая опера". Шевцов С.Е. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 17-18. Рус.

В залах, предназначенных для исполнения оперы нередко проводятся симфонические концерты. В этом случае оркестр располагается не в оркестровой яме, а на сцене. Условия звукового поля на театральной сцене в этом случае далеки от оптимальных. С целью оптимизации акустических параметров в театре "Новая опера" используется система отражающих щитов, которая была разработана специально для нового спектакля, но оказалась полезной для концертов симфонической музыки. Для оценки эффективности этой системы были проведены акустические исследования. Сравнительный анализ параметров, входящих в международный стандарт ISO3382, показал явное преимущество ее использования. В частности проявляется сбалансированность показателей параметра C-80дБ между музыкальными инструментами, располагаемыми на авансцене и в глубине сцены. Сама система отражающих щитов имеет площадь, существенно меньшую, чем применяется в известных "акустических ракушках", и в этом заключается ее преимущество. Элементы системы таким образом по объему соответствуют небольшим театральным декорациям и более легко монтируются и демонтируются.

25.01-01.344 Голосники храма Святых Жен-Мироносиц во Пскове. Канев Н.Г. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 18. Рус.

Представлены сведения о голосниках, встроенных в стены храма в честь святых Жен-Мироносиц во Пскове. Общее количество голосников в церкви составляет 374, что является наибольшим количеством для Псковских церквей, а, возможно, и мировым рекордом по количеству голосников в одном помещении. Описаны геометрические размеры голосников, приведены измерения отклика резонатора на внешнее акустическое воздействие. Геометрия голосников значительно отличается от ожидаемой, по имеющимся сведениям, а характерные резонансные частоты голосников составляют 100 ± 10 Гц, что также ниже ожидаемых значений.

25.01-01.345 Особенности акустического проектирования учебных помещений небольшого объема. Субботкин А.О., Алешкин В.М., Стукало А.А., Числов Д.С. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 18. Рус.

Изложены некоторые особенности акустического проектирования учебных помещений небольшого объема (до 300 м^3). Представлен обзор нормативных и рекомендательных документов различных стран мира в области шумового режима, акустики и звукоизоляции ограждающих конструкций в учебных помещениях школ. Описаны предлагаемые решения по акустическому оформлению учебных классов и аудиторий небольшого объема.

25.01-01.346 Коррекция акустики спортивных арен после введения их в эксплуатацию. Волченкова И.С., Канев Н.Г., Перетокин А.В., Фадеев А.С. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 18-19. Рус.

Общественные помещения большой вместимости без специальной звукопоглощающей отделки обладают низкими акустическими качествами, обусловленные, главным образом, значительным объемом и избыточной гулкостью, что полной мере проявляется после начала эксплуатации таких объектов. Для улучшения акустического комфорта требуются специальные мероприятия по корректировке комплекса внутренней отделки с применением материалов с высоким коэффициентом звукопоглощения. Однако, на действующих объектах, как правило, существует множество ограничений, не позволяющих до-

стичь оптимальных условий. В работе представлены практические примеры по коррекции акустики пяти спортивных арен, описаны выполненные мероприятия, приведены результаты измерения времени реверберации до и после коррекции. Обсуждаются проблемы, связанные с задачами улучшения акустических условий в больших помещениях после введения их в эксплуатацию. Рассмотрены основные мероприятия по улучшению акустики спортивных арен. Приведены результаты измерения времени реверберации в пяти спортивных аренах до и после реализации коррекции их акустики. Сделан вывод, что устройство звукопоглощающих конструкций помогает достичь оптимальных акустических параметров в таких сооружениях.

25.01-01.347 Новый свод правил 415.1325800.2023 по акустическому проектированию спортивно зрелищных сооружений. Перетокин А.В., Ширжецкий Х.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 19. Рус.

Свод правил 415.1325800.2018 "Здания общественные Правила акустического проектирования который был выпущен в 2018 году и действовал до начала 2024 года, содержит методы акустического проектирования крытых спортивно-зрелищных сооружений вместимостью до 25 тыс. человек, воздушный объем которых ограничен значением 50 тыс. м^3 . Однако за последние 10 лет в России началось массовое строительство крупных спортивных арен вместимостью более 50 тыс. человек воздушным объемом более 500 тыс. м^3 . Кроме того, все современные спортивные объекты проектируются и строятся как многофункциональные площадки, на которых, помимо спортивных соревнований, могут проводиться и концертно-развлекательные мероприятия. Таким образом, подходы и методы акустического проектирования, изложенные в Своде правил 2018 года, в настоящее время не отвечают особенностям современных спортивных арен большой вместимости и большого воздушного объема, в которых важно обеспечить высокий уровень акустического комфорта. Рассмотрен новый Свод правил 415.1325800.2023 "Здания общественные Правила акустического проектирования в котором предложены современные подходы к определению оптимального времени реверберации в зависимости от воздушного объема помещения. Рассмотрен дополнительный параметр нормирования акустического комфорта — индекс фанатской поддержки FSI. Актуализированы данные по звукопоглощающим характеристикам современных материалов, применяемых в отделке арен. Предложены простые аналитические алгоритмы оценки времени реверберации на аренах открытого, полукрытого и закрытого типов.

25.01-01.348 Распространение звука в длинных залушечных помещениях. Канев Н.Г., Фадеев А.С. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 19. Рус.

Представлены результаты натурных измерений распространения звука в двух помещениях длиной 55 и 300 м прямоугольного поперечного сечения, стены которых покрыты звукопоглощающими материалами. В коротком помещении наблюдается экспоненциальное затухание звука вдоль всего помещения, определены коэффициенты затухания. В длинном помещении на низких частотах картина затухания аналогичная, а на средних существенно отличается: на расстояниях нескольких десятков метров от источника звук затухает сравнительно быстро, а на больших расстояниях (100 м от источника и далее) затухание звука происходит крайне медленно. Предоставлены результаты конечно-элементного моделирования, качественно совпадающие с натурным экспериментом. Даны рекомендации по акустической отделке стен для увеличения коэффициента затухания.

25.01-01.349 Расширенные инструментальные техники в современной исполнительской практике и их тембровое воплощение, опыт классификации. Давиденкова-Хмара Е.Ш. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 31. Рус.

Рассмотрены новые приемы звукоизвлечения на оркестровых музыкальных инструментах и предложена система классификации данных приемов, исходя из акустических характеристик и специфики их слухового восприятия. Ведущая тенденция в исполнительской практике заключается в расширении звуковых возможностей инструмента и заимствование приемов звукоиз-

вращения, органичного для другого типа инструментов (например, известный прием ведение смычком по вибратону). Ставится вопрос о том, существуют ли определенные закономерности в формировании тех или иных приемов, независимо от типа инструмента.

25.01-01.350 Тембровые особенности звучания знаменного пения в аутентичной акустической обстановке. Давиденкова-Хмара Е.Ш. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 31. Рус.

В результате сотрудничества автора с лабораторией древнерусского песенного искусства Санкт-Петербургской Консерватории, были организованы две экспедиции в Соловецкий монастырь, где в аутентичных условиях звучания исполнены и записаны образцы знаменного пения. Автора интересовала, прежде всего, психоакустическая картина восприятия пения в рассматриваемом стиле самими исполнителями и слушателями и выявление тембровых особенностей звучания мужского монодического пения в условиях.

Акустика струнных инструментов

25.01-01.351 Влияние акустического резонатора на спектр колебаний струнных музыкальных инструментов. Хитров Д.Е., Шлычков С.В. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 31. Рус.

Струнные музыкальные инструменты представляют собой связанную упруго-акустическую систему, состоящую из источника колебаний — струн, усилителя колебаний — акустической воздушной полости и излучателя звука, придания ему нужной тембровой окраски — корпуса. Данная работа посвящена численному моделированию корпуса гитары и внутренней акустической полости. С целью проверки достоверности разрабо-

танной модели создана конечно-элементная модель тонкостенной конструкции канонической формы. Определены ее виброакустические характеристики, результаты сопоставлены с известными данными. Конструкционный материал — древесина рассмотрен на основе модели ортотропного тела. Решена задача на собственные значения для корпуса, для акустической полости и связанной механоакустической системы. Рассмотрены установившиеся колебания конструкции под действием моногармонической вынуждающей силы, приложенной по нормали к поверхности деки в точке расположения подставки для струн. Результаты расчета сопоставлены с данными натурных экспериментов. Построены амплитудно-частотные характеристики для ряда точек на поверхности деки. На основе разработанной модели появляется возможность на стадии проекта управлять и прогнозировать качество струнных музыкальных инструментов.

25.01-01.352 Характеристика направленности излучения русского народного инструмента балалайка. Шевцов С.Е. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 32. Рус.

Русские музыкальные инструменты являются важной частью культуры России. Тем не менее в отличие от инструментов симфонического оркестра, их акустические параметры, такие как характеристика направленности, атака звука, спектр колебания струн и корпуса не публиковались. В данном исследовании описан эксперимент по определению характеристики направленности излучения балалайки, представлен его метод и полярные диаграммы в горизонтальной и вертикальной плоскости в октавных полосах частот. Полученные данные позволяют учитывать акустические свойства инструмента как отдельно, так и в составе оркестра русских народных инструментов при определении времени реверберации и распределении ранних отражений в концертном зале.

Обработка акустических сигналов; Компьютерное моделирование

25.01-01.353 Методы распознавания образов и нейросети для классификации источников акустических сигналов. Закиров М.Н., Куличков С.Н., Семенов В.А., Чуличков А.И., Мищенко А.А., Попов О.Е., Чунчузов И.П., Цыбульская Н.Д. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 4. Рус.

Предложена и обучена нейронная сеть для классификации типов источников инфразвука на десять классов. Модель успешно справляется с классификацией данных на тестовом наборе данных. Приведены графики функции потерь и точности от номера эпохи обучения нейросети для обучающей, валидационной и тестовой выборки. Построен график $F1$ -меры как объективного показателя качества работы при несбалансированной выборке. Показана матрица неточностей для тестовой выборки. Обучение модели с использованием графических процессоров выполняется достаточно быстро. Модель можно масштабировать для распознавания любого количества объектов и применить в си-

стемах оперативного акустического мониторинга территорий.

Компьютерная обработка результатов эксперимента

См. 25.01-01.31, 25.01-01.32

Компьютерный эксперимент и численное решение классических линейных задач

См. 25.01-01.22, 25.01-01.205, 25.01-01.340

Обращение фронта и времени, адаптивные системы

См. 25.01-01.24, 25.01-01.25

Акустика живых систем; Биологическая акустика

25.01-01.354 Слуховая система кровососущих комаров. Лапшин Д.Н. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 51. Рус.

Комары воспринимают низкочастотные звуки перистыми антеннами, расположенными на голове насекомого. Вызванные звуковыми волнами вибрации антенн передаются многочисленным механорецепторам и затем преобразуются в электрические потенциалы. Минимальные пороги реакций роящихся комаров на акустические стимулы не превышают 20 дБ или $0.5 \mu/s$. В то же время, средняя скорость полета комаров в рое порядка 0.5 м/с . Таким образом, скорость потока воздуха, действующего на антенны летящего комара, в миллион раз превышает его минимальный слуховой порог. Пока остаются невыясненны-

ми принципы обработки сигналов, обеспечивающие столь высокую помехозащищенность слухового канала у этих насекомых. Положение антенн у комаров согласовано с пространственной ориентацией наиболее чувствительных слуховых рецепторов. Результирующие диаграммы направленности ориентированы в пространстве таким образом, чтобы перед комаром формировалась зона сравнения (зона перекрытия), в которой правая и левая системы могут эффективно воспринимать сигнал от источника звука. Для комаров характерно брачное поведение, основанное на излучении и восприятии акустических сигналов в процессе поиска и сближения с половым партнером. Предположительно, в задачи слуховой системы комаров входит также акустическое обнаружение объектов нападения, в том числе

и человека, по шуму движения или вокализации. Это может дать комарам дополнительные преимущества, так как в отличие от обоняния или зрения, восприятие низкочастотных акустических сигналов на небольших дистанциях практически не зависит от направления ветра и наличия экранирующей растительности.

25.01-01.355 Определение минутного объема дыхания водолаза по шумам под водой. *Костив А.Е.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 51-52. Рус.

Традиционно водолазом, даже в любительском погружении, ведется журнал самоконтроля (Diving LogBook), куда заносятся сведения о погружении, о самочувствии. Одним из основных количественных параметров при исследовании легочной вентиляции дыхательной системы является минутный объем дыхания (МОД), оцениваемый как количество литров дыхательной смеси, прошедших через легкие за одну минуту (л/мин). МОД водолаза находится в диапазоне от 7.5 л/мин (при отдыхе) до 60 л/мин (при нагрузке (перемещение со скоростью 1.2 узла)). Контроль легочной вентиляции водолаза во время погружения традиционно производится по прибору учета скорости расхода или давления дыхательной смеси, который требуется встраивать в арматуру водолазного оборудования. Рассматриваемый в работе способ оценки легочной вентиляции водолаза не требует вмешательства в конструкцию дыхательной арматуры водолазного снаряжения. Определение минутного объема дыхания водолаза под водой основано на регистрации шумов дыхания водолаза, выделении шумов вдоха, определение продолжительности шумов вдоха за одну минуту и вычисление минутного объема дыхания водолаза под водой как результат суммарной продолжительности шумов вдоха за одну минуту, умноженной на значение скорости непрерывной принудительной подачи дыхательной смеси. Значения скорости непрерывной принудительной подачи дыхательной смеси дыхательного аппарата, как правило, указывается производителем в паспорте к водолазному снаряжению. Способ может быть реализован на любом дыхательном оборудовании использующим сжатую дыхательную смесь и поступающую в дыхательные пути через редуктор высокого давления на каждый вдох.

25.01-01.356 Влияние пространственной неопределенности прихода шумовых сигналов и временной нестабильности частотной модуляции спектральных составляющих на их восприятие, дифференцировку и классификацию дельфинами (*Tursiops truncatus*). *Аги А.В.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 52. Рус.

Исследование способности слуховой системы дельфинов классифицировать шумовые сигналы по заданным инвариантным признакам происходило в условиях пространственной неопределенности одновременного предъявления положительного и отрицательных классов сигналов. Поставленная перед дельфином задача была усложнена введением нестабильности дискретных составляющих спектра сигнала как по частоте, так и по времени. Частотная модуляция спектральных составляющих, как функция от времени, была вариативна в хаотическом, шумоподобном режиме. Оценена эффективность работы животных на разных стадиях усложнения задачи до установления порога сложности, при котором классификация сигналов становится недостоверной.

25.01-01.357 Возможность применения двухканального высокочастотного приемника градиента давления для оценки одновременно лоцирующих млекопитающих в компактной группе. *Беликов Р.А., Волж Г.М., Галутин В.З.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 52. Рус.

На основе полевых записей акустических сигналов беломорских белух, выполненных с использованием донной станции с двухканальным высокочастотным приемником градиента давления, проанализирована возможность оценки стабильности популяции морских млекопитающих по их акустической активности в шельфовой зоне. Предложен алгоритм обработки локационных сигналов белух для определения их количества в акватории по пространственным, временным и частотным характеристикам. Рассмотрены особенности обработки локационных сигналов при совпадении пачек локационных импульсов, при

совпадении пеленгов на одновременно лоцирующих особей и при совпадении частоты следования импульсов в наложенных пачках.

25.01-01.358 Предварительные данные о спектральных и корреляционных характеристиках гидролокационных сигналов белух *Delphinapterus leucas*, полученные в приморском океанариуме. *Горовой С.В., Катин И.О.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 53. Рус.

Гидролокационные сигналы белух *Delphinapterus leucas* представляют собой последовательности из 10 и более импульсов длительностью до единиц миллисекунд, следующих через регулярные интервалы времени. В Приморском океанариуме, в открытом плавучем вольере прямоугольной формы, находящемся в б. Парис, о. Русский залива Петра Великого Японского моря, содержатся 4 взрослые самки белух. Описаны предварительные результаты анализа гидроакустических сигналов, зарегистрированных в полосе частот до 400 кГц при выполнении экспериментов по локации данными белухами опускаемого в воду за пределами вольера и погружающегося до дна предмета: участвующая в эксперименте белуха находится на глубине порядка 1 м у одной из сторон вольера и выполняет обнаружение и гидролокационное обследование данного предмета, а остальные находятся у противоположной стороны вольера, удерживаются вблизи поверхности тренерами и не создают локационных сигналов. Приведены осциллограммы и спектрограммы зарегистрированных сигналов, на которых видны как локационные, так и отраженные от лоцируемого предмета эхосигналы, а также взаимные корреляционные функции входящих в локационные последовательности импульсов, описана методика проведения экспериментов.

25.01-01.359 Вариабельность вариабельности импульсной активности нейронов слуховой коры неанестезированной кошки. *Бибиков Н.Г., Макушев И.В., Пигарев И.Н.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 53. Рус.

Фоновая импульсная активность нейронов слуховой коры ненаркотизированных млекопитающих как в состоянии бодрствования, так и во сне представляет собой точечный процесс, характеризуемый высокой пачковостью и выраженными фрактальными свойствами. Обычно этот процесс рассматривают как близкий к стационарному. Между тем ряд экспериментальных данных демонстрирует, что сами свойства фоновой активности одиночного нейрона коры могут существенно и хаотически изменяться во времени. Для изучения такой вариабельности статистических свойств процесса были исследованы основные параметры, характеризующие фрактальные свойства фоновой активности (индекс Хёрста и максимальное значение фактора Фано) в динамике за значительные, но быстро следующие друг за другом интервалы времени. Подтверждены описанные ранее сравнительно медленные и разнообразные временные изменения статистических свойств исследованной фоновой активности. Кроме того, выявлена достоверная корреляция временного течения указанных выше характеристик (индекс Хёрста и фактор Фано). Таким образом, импульсация корковых нейронов может существенно изменять свои особенности с течением времени. Эти изменения иногда оказываются существенно различными даже у близко расположенных нейронов коры.

25.01-01.360 Частотные эффекты стимул специфической адаптации нейронов первичной слуховой коры бодрствующей мыши (*Mus musculus*) к последовательности звуковых импульсов. *Егорова М.А., Акимов А.Г.* *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 54. Рус.

Выполнено нейрофизиологическое исследование частотных эффектов стимул-специфической адаптации нейронов первичной слуховой коры бодрствующих домашних мышей. На фоне адаптации к последовательности из четырех идентичных тональных сигналов, имитирующих временную структуру серий криков дискомфорта мышат, взрослым самкам предъявляли пятый стимул, отличающийся от первых четырех только по частоте. Это приводило к освобождению от адаптации в ответах нейронов на пятый стимул, т.е. величина ответа на пятый стимул превышала ответы на второй — четвертый стимулы.

25.01-01.361 Сравнительный анализ вокализаций диких и линейных домовых мышей (*Mus musculus*). Лупанова А.С. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 54. Рус.

Акустическая коммуникация у таких социальных животных, как домовые мыши (*Mus musculus*), играет важную роль в регулировании основных биологических функций, таких как поиск половых партнеров, забота о потомстве, установление иерархии и другие социальные взаимодействия. Информация об особи и ее физиологическом состоянии кодируется посредством физических характеристик издаваемого крика, к которым можно отнести длительность, значения основной частоты, ее максимальное и минимальное значения, частотную модуляцию и др. Так как вокализации мышей подвержены изменениям в зависимости от их линейной принадлежности большое количество научных работ посвящены параметрам сигналов у разнообразных линий лабораторных мышей. Однако неизвестно можно ли применять эти данные при исследовании диких популяций домовой мыши. В работе впервые выполнен сравнительный анализ структурно-временных характеристик криков лабораторных (гибридов линий CBA и C57BL/6) и диких мышей. В работе произведена аудио-видео регистрация акустического поведения животных. Выполненный спектрально-временной анализ оборонительного крика самок при половом поведении и ультразвукового крика самок при назо-назальном контакте показал сходство вокального репертуара у лабораторных и диких мышей. Также у них не выявлены отличия в поведенческих маркерах: позах, стойках, последовательности ритуального поведения.

25.01-01.362 Оценка слуховой чувствительности крыс со сниженной экспрессией гена дофаминового транспортера. Хорунжий Г.Д., Егорова М.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 54-55. Рус.

Фактором развития таких тяжелых патологий центральной нервной системы, как болезнь Паркинсона и синдром дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ), являются нарушения функций дофаминергической системы. Известно, что развитие болезни Паркинсона у человека затрагивает также процессы сенсорного восприятия, включая слуховое (Василенко и др., 2010; Jafari et al., 2020). Таким образом, актуальным направлением медико-биологических исследований остается поиск изменений слуховой чувствительности, отражающих раннее развитие нарушений дофаминергической системы, в том числе, у трансгенных животных, выступающих в качестве экспериментальных моделей таких патологий. В данной работе методом регистрации коротколатентных слуховых вызванных потенциалов (КСВП) выполнена сравнительная оценка характеристик слуха крыс линий Wistar и трансгенной линии DAT-KO со сниженной экспрессией гена Slc6a3, кодирующего транспортер обратного захвата дофамина (DAT). КСВП, зарегистрированные у крыс обеих линий, состояли из 5 волн (пиков) со средним латентным периодом 3 мс (первый пик) — 7 мс (пятый пик). Полученные данные продемонстрировали сходство амплитудных параметров КСВП (соотношение амплитуд волн I–V) крыс линии Wistar и полученной на ее основе линии DAT-KO. С учетом сведений о возрастании латентных периодов волн КСВП у пациентов, страдающих болезнью Паркинсона (Amprag et al., 2020; Jafari et al., 2020), более информативным в отношении поиска коррелят нарушений дофаминергической системы в активности слуховых центров мозга может оказаться анализ временных характеристик КСВП.

25.01-01.363 Экспериментальная оценка точности вычислительного пакета k wave в задачах транскраниального ультразвука. Крохмаль А.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 55. Рус.

Для обеспечения эффективного и безопасного воздействия фокусированным ультразвуком на заданную область мозга, например, в целях нейромодуляции или открытия гематоэнцефалического барьера, предварительно выполняется тщательное планирование с использованием численных расчетов, вопрос о точности которых остается открытым. Основная цель данной работы — оценить точность вычислительного пакета k-Wave в моделировании распространения ультразвукового пучка через костную ткань в линейном режиме в контексте планирования

транскраниальной ультразвуковой терапии. Измерения акустического поля внутри черепов методом акустической голографии и численные расчеты были сделаны для набора из четырех *ex-vivo* человеческих черепов в диапазоне частот от 270 кГц до 1 МГц. Сравнение профилей и пространственного распределения давления показало, что численные расчеты хорошо воспроизводят экспериментальные результаты даже в случае сильных аберраций. В большинстве случаев расхождения в положении фокуса находились в пределах 2 мм, расхождения в максимальной амплитуде давления — в пределах 20%, а в фокальном объеме — в пределах 50%. Результаты показывают, что численные расчеты с помощью программного пакета k-Wave обладают высокой точностью и могут адекватно предсказывать положение и объем фокальной зоны и уровень акустического давления, также давать представление о сложной структуре поля внутри черепа.

25.01-01.364 Сравнение возможностей механического и электронного перемещения фокуса многоэлементного излучателя при фокусировке мощного ультразвука через кости черепа. Чупова Д.Д., Солонцов О.В., Гаврилов Л.Р., Ситницын В.Е., Мерицина Е.А., Сапожников О.А., Хохлова В.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 55-56. Рус.

Метод неинвазивной ультразвуковой нейрохирургии основан на фокусировке ультразвука через невскрытый череп в заданные участки мозга. В клинической практике для проведения таких операций используется система ExAblate Neuro (Insightec Ltd, Israel). Полусферическая геометрия многоэлементного излучателя системы ограничивает возможности механического и электронного перемещения фокуса решеткой, так что доступной для неинвазивной ультразвуковой хирургии является только центральная область мозга, примерно ± 2.5 см относительно центра головы человека. Важной задачей является расширение возможной области облучения. Целью данной работы является сравнение возможностей механического и электронного перемещения фокуса нового класса решеток, выполненных в виде сегмента сферы с меньшим углом фокусировки. Акустическая модель черепа была построена на основе анонимизированных данных компьютерной томографии. Расчеты с компенсацией аберраций, вызванных костями черепа, проводились в программном пакете k-wave для разработанной в нашей лаборатории модели 256-элементной компактной решетки с рабочей частотой 1 МГц. Фокус излучателя перемещался вдоль его оси. Получено, что электронная фокусировка позволяет перемещать фокус в пределах 2 см вдоль оси решетки относительно ее центра кривизны при уменьшении амплитуды в фокусе менее чем на 10% по сравнению с амплитудой в геометрическом фокусе излучателя. Для механического перемещения аналогичный диапазон составляет 3 см. Для расширения области фокусировки планируется исследовать комбинацию механического и электронного перемещения фокуса.

25.01-01.365 Численное решение задачи ультразвукового объемного нагревания биоткани с поверхностным охлаждением. Пестова П.А., Рыбязец А.Н., Сапожников О.А., Карзова М.М., Юлдашев П.В., Цысарь С.А., Котельникова Л.М., Хохлова В.А., Швецов И.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 56. Рус.

Одним из побочных эффектов неинвазивной терапии с помощью фокусированного ультразвука является нежелательный перегрев и повреждение кожи. Данный эффект может проявляться как при облучении глубоко расположенных, так и подкожных слоев биологической ткани. Для защиты кожи, а также самого фокусирующего излучателя часто используется охлаждение контактной среды, расположенной между кожей и излучателем. Недавно учеными ЮФУ был разработан нефокусированный излучатель для объемного нагревания подкожных слоев ткани, представляющий собой плоскую прямоугольную пьезопластину ($15 \times 25 \times 1$ мм), наклеенную на алюминиевую пластину ($25 \times 40 \times 3$ мм), которая охлаждалась путем циркуляции холодной воды ($14-18^\circ\text{C}$) через ее боковые каналы. Алюминиевая пластина находится в прямом контакте с кожей, предотвращая ее перегрев. В настоящей работе был разработан численный алгоритм, позволяющий рассчитать нагрев ткани с учетом поглощения ультразвука и охлаждения кожи пласти-

ной. Моделирование трехмерного температурного поля в ткани проводилось на основе уравнения теплопроводности. Решение сначала строилось независимо для задач охлаждения кожи пластиной и нагрева ткани тепловыми источниками акустического поля, а затем полученные решения складывались в силу линейности задачи. Для расчета тепловых источников использовались данные акустической голографии, полученные для излучателя при его работе на частоте 2.09 МГц. Акустическая мощность варьировалась от 5 до 30 Вт, время облучения — от нескольких секунд до нескольких минут, параметры биоткани соответствовали табличным значениям говяжьей печени. Было показано, что предложенный подход позволяет осуществлять объемный нагрев ткани с максимумом температуры на глубине 2 см при незначительном изменении температуры ее приповерхностного слоя на глубинах до 5 мм. Результаты расчетов сравнивались с полученными ранее в ЮФУ экспериментальными данными, в которых была продемонстрирована возможность достижения объемной тепловой абляции ткани при сохранении интактности поверхностного слоя.

25.01-01.366 Исследование возможности контроля локальной гипертермии лазерного нагрева на фантоме ткани головного мозга человека методами пассивной акустической термометрии и инфракрасной термографии. *Ерофеев А.В., Острейко О.В., Шаракианэ А.С., Грановский Н.В., Спирин Д.В., Мансфельд А.Д., Аносов А.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 57. Рус.

Проведены эксперименты с локальным лазерным нагревом модельных объектов на основе фантома ткани головного мозга человека. Локальная гипертермия позволяет достигать циторедукции опухолевой ткани. При этой медицинской процедуре важно точно локализовать область нагрева, а также контролировать размеры и температуру нагреваемой опухолевой ткани. Локальный нагрев проводился хирургическим лазером (IPG Photonics, Фрязино) на длинах волн 0.97 и 1.56 мкм с мощностью 2 Вт. Были получены данные о закономерностях распределения температуры в фантоме ткани головного мозга человека в зависимости от времени и локализации его нагрева. Результаты обработки данных, полученных при совместном использовании методов пассивной акустической термометрии (ПАТ) и инфракрасной термографии (ИКТ) для объективного контроля глубинной и поверхностной температур фантома ткани головного мозга человека хорошо согласуются, что позволяет точнее определять параметры ослабления теплового воздействия локального нагрева на клетки опухоли головного мозга человека. С помощью ИК-термометрии определили, как меняются во времени размеры областей циторедукции, в которых температура превышает 45 и 60°C. Также было показано, что при глубине источника нагрева 2 см ПАТ сразу регистрирует увеличение глубинной температуры, в то время как ИКТ показывает начало нагрева только через 1.5 минуты после включения источника (видимо, через время достижения тепла до поверхности фантома). Таким образом, совместное использование ПАТ и ИКТ дает возможность более эффективно оценивать тепловое состояние тканей головного мозга человека.

25.01-01.367 Экспериментальная проверка основных соотношений при корреляционном приеме теплового акустического излучения. *Грановский Н.В., Аносов А.А., Ерофеев А.В., Мансфельд А.Д., Беляев Р.В., Санин А.Г. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 57-58. Рус.

Ранее был предложен и рассмотрен способ восстановления распределения температуры при корреляционном приеме, что позволяет существенно повысить пространственное разрешение метода. Для этого было предложено складывать с определенными весами кросскорреляционные функции, полученные с помощью линейной решетки датчиков. В настоящей статье осуществлен корреляционный прием теплового акустического излучения парой датчиков с целью исследования и анализа возможности использовать результаты, полученные в радиоастрономии, в задачах акустотермометрии. Для получения экспериментальных значений корреляционного измерения теплового акустического излучения использована пара приемников. В ходе эксперимента изменялись такие параметры как размер нагретых источников, расстояние от источника до датчиков, а

также нагретый источник сдвигался перпендикулярно акустической оси системы. Так же были рассчитаны кросскорреляционные функции теплового акустического излучения. Сравнение экспериментальных и расчетных значений параметров кросс — корреляционных функций показывает их сходство с учетом погрешности измерений.

25.01-01.368 Демонстрация в физическом эксперименте преимуществ использования ударно волновых импульсно периодических режимов фокусировки мощного ультразвука для тепловой абляции биоткани. *Карзова М.М., Цысарь С.А., Пестова П.А., Папикян Л.А., Хохлова В.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 58. Рус.

Неинвазивная технология HIFU применяется в клинической практике для тепловой абляции биологических тканей путем воздействия фокусированными ультразвуковыми волнами. Формирование объемных тепловых разрушений, состоящих из множественных единичных, происходит за счет тепловой диффузии, которая приводит к неопределенности конечной формы разрушения и может повлечь нежелательные повреждения окружающих тканей. В данной работе исследованы импульсно-периодические режимы облучения с постоянной по времени средней мощностью, при этом увеличение пиковой мощности компенсировалось увеличением скважности. Главным преимуществом высокоамплитудных режимов является образование в фокусе ударных фронтов в профиле волны из-за сильного проявления нелинейных эффектов и, как следствие, быстрое получение разрушения в строго заданной области за счет эффективного тепловыделения на ударных фронтах. В работе была создана экспериментальная установка для имитации в лабораторных условиях ударно-волновых режимов фокусировки в клинической HIFU системе MRgHIFU Sonalleve (Profound Medical Corp., Canada). В качестве источника мощного ультразвука использовался одноэлементный излучатель с частотой 1.2 МГц, фокусным расстоянием 120 мм и полным углом схождения 60°. В экспериментах *ex vivo* на различных биологических тканях было показано, что использование ударно-волновых импульсно-периодических режимов облучения позволяет в несколько раз увеличить скорость тепловой абляции по сравнению с непрерывным режимом за счет усиления нагрева в присутствии ударных фронтов и отражения пучка от возникающих в фокусе паровых полостей кипения, а также визуализировать процесс формирования теплового разрушения с помощью диагностического ультразвука за счет рассеяния на пузырьках кипения.

25.01-01.369 Пилотная демонстрация возможности неинвазивной нетепловой ультразвуковой деструкции рака кишки человека *ex vivo* методом гистотрипсии с кипением. *Пономарчук Е.М., Цысарь С.А., Кадрев А.В., Чупова Д.Д., Пестова П.А., Карзова М.М., Папикян Л.А., Квашенникова А.В., Данилова Н.В., Мальков П.Г., Черняев А.Л., Буржавков С.В., Хохлова В.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 58-59. Рус.

Одним из активно развивающихся приложений мощного фокусированного ультразвука является его применение в неинвазивной хирургии, в частности, для механического (т.е. нетеплового) разрушения опухолей внутри организма человека методом гистотрипсии с кипением (ГК) с помощью ударно-волновых ультразвуковых импульсов миллисекундной длительности. Рак кишки является третьим по распространенности в мире онкологическим заболеванием (ВОЗ,2022), для лечения которого потенциально может быть применен метод ГК в качестве неинвазивной альтернативы стандартным хирургическим методам лечения. Целью настоящей работы была экспериментальная проверка возможности применения метода ГК для неинвазивного механического разрушения рака кишки человека *ex vivo*. Модуль Юнга аутопсийного образца рака сигмовидной кишки человека измерялся методом эластографии сдвиговой волной для подтверждения клинической репрезентативности аутопсийного материала. Затем в образце, заключенном в агарозный гель и погруженном в бассейн с дегазированной водой при 34°C, получалось объемное разрушение с помощью кольцевой решетки с рабочей частотой 2МГц и углом фокусировки 67.5° путем облучения трехмерной сетки из 5×5×2 фо-

кусов (шаг 1 мм, 150 импульсов длительностью 1 мс с периодом повторения 0.1 с на точку). Оценка параметров ударной волны в ткани ($P+/P-/As=91/-13/78$ МПа) осуществлялась путем комбинации измерений методом акустической голографии и численного моделирования в программном комплексе "HIFU beam". Успешно полученное ГК-разрушение визуализировалось как с помощью диагностического УЗИ-датчика, так и гистологически.

25.01-01.370 Сравнительная оценка влияния ультразвука и β -излучения на активность фермента щелочная фосфатаза. Николаев А.Л., Саранцев А.В., Гопин А.В., Держкунов Н.В. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 59. Рус.

Проведено сравнительное исследование отдельного и комбинированного влияния ультразвука (0,88 МГц, 2,64 МГц; 1–3 Вт/см²) и β -излучения на кинетические параметры фермента щелочная фосфатаза В качестве источника β -излучения использовался источник типа ИРУС-1 с радионуклидами стронций-90 + иттрий-90, и мощностью дозы $8,26 \pm 0,05$ Гр/мин. В экспериментах варьировались последовательности воздействий ультразвука и ионизирующего излучения. Установлено, что в отличие от γ -излучения, суперрадикативный эффект инактивации фермента наблюдается при любых последовательностях воздействий. Однако при первоначальном β -воздействии эффект выражен более ярко. Четкий дозовый максимум суперрадикативности, соответствует 40 минутам каждой последовательности комбинируемых воздействий. Определены эквиваленты мощностей доз ультразвукового и радиохимического воздействия по конверсии иодидного и ферросульфатного дозиметров.

25.01-01.371 Выявление диагностических признаков остеопороза по характеристикам бегущих волн. Ермоленко О.А., Глушкова Е.В., Глушкова Н.В. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 59-60. Рус.

Ультразвуковые бегущие волны чувствительны к механическим и геометрическим свойствам костей, что теоретически позволяет использовать их для диагностики остеопороза. Однако верхний слой мягких тканей создает трудности в извлечении полезной информации о состоянии ослабленных слоев кости из регистрируемых на поверхности сигналов. Для выявления скрытых диагностических признаков используют математическое и компьютерное моделирование волновых процессов в многослойных образцах, имитирующих волноводные свойства трубчатых костей. В работе рассматривается полуаналитическая модель, основанная на явном представлении бегущих волн через контурные интегралы обратного преобразования Фурье матрицы Грина исследуемых волноводов. Асимптотика бегущих волн выводится из интегральных представлений с помощью теории вычетов. Проведенный анализ показал, что амплитуда функции Грина костной структуры, а, следовательно, и точки дисперсионных кривых, извлеченные из измеренных данных методом матричных пучков, практически нечувствительны к изменениям, происходящим во внутренних слоях. Поэтому здесь плохо работает традиционный подход к решению обратной задачи определения геометрических и упругих параметров волновода по данным поверхностных измерений, который базируется на минимизации невязки между экспериментальными и теоретическими дисперсионными кривыми бегущих волн. Взамен предлагается новая форма целевой функции в виде суммы значений обратных элементов матрицы Грина в экспериментальных точках дисперсионных кривых. Это позволило оценить толщину и упругие свойства внутренних слоев, получив их стабильные значения для различных образцов. Еще одним перспективным диагностическим признаком является распределение частот резонансного отклика, которое проявляется в спектре измеренных данных в виде хорошо регистрируемых пиков. Численные эксперименты показали монотонное уменьшение резонансных частот по мере ослабления внутреннего слоя.

Действие акустических колебаний на биологические среды и живые организмы

25.01-01.372 Воспринимаемые траектории циклического движения звуковых образов. Шестопалова Л.В.,

Петропавловская Е.А., Саликова Д.А., Летьягин П.И. *Сенсорные системы*. 2024. 38, № 3, с. 51-62. Рус.

Бинауральные биения — это феномен, возникающий при дихотической стимуляции вследствие бинауральной интеграции. Он проявляется как циклическое движение звукового образа в субъективном пространстве, когда диапазон частот биений лежит ниже 3 Гц. Испытуемым подавались шумовые стимулы, создающие ощущение движения за счет линейного или ступенчатого паттерна изменений межшумной задержки (АТ). Диапазоны изменений АТ определяли положение траекторий движения в центральном или латеральном секторах пространства. Результаты подтверждают, что оба паттерна АТ создавали эффект бинауральных биений. Влияние пространственного положения на воспринимаемую длину траекторий интерпретируется с точки зрения нелинейных свойств латерализации. Влияние паттерна АТ на воспринимаемую длину траекторий предположительно опосредовано механизмами временной интеграции в бинауральном слухе.

См. также 25.01-01.208, 25.01-01.328

Применение ультразвука, физические основы акустических методов и приборов для биологии и медицины

25.01-01.373 Высокоинтенсивный фокусированный ультразвук в медицине: новые физические подходы и клинические приложения. Хохлова В.А. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 3. Рус.

В последние два десятилетия одним из наиболее успешных приложений физической акустики стало использование мощного ультразвука в терапии и неинвазивной хирургии. Согласно данным Фонда фокусированного ультразвука (<https://www.fusfoundation.org>), в настоящее время акустические волны высокой интенсивности используются более чем в 160 клинических приложениях; свыше 100 компаний производят соответствующее медицинское оборудование; с использованием ультразвуковых методов пролечивается более 100 тысяч пациентов в год. Фокусированный ультразвук высокой интенсивности (HIFU — High Intensity Focused Ultrasound) используется как для терапевтического воздействия, так и для разрушения нежелательных биологических тканей. Представлен обзор современных клинических приложений HIFU в нейрохирургии, урологии, кардиологии, гастроэнтерологии, офтальмологии и иммунологии. Приводятся примеры разработанных излучателей с параметрами, оптимизированными к конкретным приложениям, рассматриваются новые подходы к метрологии полей HIFU-установок, особенности планирования облучения и акустической визуализации области воздействия. Обсуждаются методы компенсации аберраций в таких приложениях HIFU как облучение абдоминальных органов и нейрохирургия через не вскрытый череп. Отмечается быстрое развитие методов механического разрушения тканей (гистотрипсии) с использованием нелинейных импульсно-периодических режимов HIFU-облучения, позволяющих создавать ударно-волновые поля в фокусе. Помимо разрушения биотканей, указанные режимы способны вызывать дополнительные полезные биоэффекты, например, усиление выделения специфических биомаркеров и повышение иммунного отклика при онкологических заболеваниях.

Речеобразование и восприятие речи

25.01-01.374 Импульсный источник возбуждения в речевом сигнале. Сорокин В.Н. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5, с. 778-794. Рус.

Свойства речевого взрыва смычки исследуются на материале базы данных 39 дикторов, содержащей однозначные и многозначные числительные с параллельной записью сигналов на телефонную трубку и направленный микрофон. Детектирование речевого взрыва выполняется кратковременным и долговременным детектором спектрально-временных неоднородностей, а также детектором меры сходства собственных функций спектра взрыва согласных и текущего спектра речевого

взрыва. Вероятность присутствия звонкой или глухой смычки оценивается в пространствах амплитудного спектра и спектра групповой задержки по отношению энергии в области высоких и низких частот. Место артикуляции заднеязычного согласного влияет на распределения вероятности длительности интервала между началом речевого взрыва и началом гласного, частоты пика с максимальной амплитудой в высокочастотной области, отношения энергии в области высоких и низких частот спектра речевого взрыва, а также меры сходства собственных функций спектра взрыва согласного и текущего спектра речевого взрыва.

25.01-01.375 Фonetическая школа Л.В. Златоустовой как синтез учебной и научной теорий изучения звучащей речи. Кедрова Г.Е., Миронова Н.И. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 69. Рус.

Научное наследие заслуженного профессора МГУ, действительного члена Международной академии информатизации, члена Президиума Акустического общества, члена Международной комиссии по фонетике и фонологии, члена Комиссии по фонетике и фонологии при РАН Любови Владимировны Златоустовой сегодня объединяет самый широкий круг исследователей звучащей речи: лингвистов, инженеров-речевиков, лингвокриминалистов, методистов-преподавателей русского языка как иностранного, стиховедов, исследователей певческой речи и биологов, изучающих коммуникативную (сигнальную) систему морских млекопитающих. Воспитанная на идеях выдающегося русского филолога, представителя Казанской лингвистической школы В.А. Богородицкого, создавшего в Казанском университете первую в мире лабораторию экспериментальной фонетики, Л.В. Златоустова продолжила обучение в аспирантуре Ленинградского университета в Лаборатории экспериментальной фонетики имени Л.В. Щербы и в 1968 г. возглавила Лабораторию фонетики и речевой коммуникации филологического факультета Московского университета. Разработанная ею теоретическая и практическая система изучения через звучащую речь базовых механизмов функционирования языка, которая постоянно развивалась и совершенствовалась в процессе преподавания студентам Отделения теоретической и прикладной лингвистики филологического факультета МГУ и слушателям единственного в России Отделения лингвокриминалистики, является примером удачного синтеза учебной и научной теорий изучения звукового строя русского языка. Представлены основные результаты развития идей Л.В. Златоустовой в современной акустической и перцептивной фонетике, сопоставительной фонетике языков разного строя, в изучении выражения эмоций в звучащей речи, просодии стиховой речи, автоматическом распознавании и лингвистической экспертизе речи, разработке компьютерных учебников.

25.01-01.376 Акустические корреляты перцептивно-слуховых признаков степени эмоциональности спонтанной и подготовленной устной речи. Курьянова И.В., Потапова Р.К., Потапов В.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 69-70. Рус.

Одним из актуальных вопросов современной криминалистики в настоящее время является задача определения эмоционального состояния говорящего для оценки его возможности давать показания, а также обнаружение объективных признаков спонтанности или подготовленности, а также степени подготовленности его речи на основе акустического анализа фонограмм. Задача различения неподготовленной или подготовленной продуцируемой устной речи, которая может быть решена посредством применения специальных акустических и перцептивно-лингвистических знаний, является особенно значимой для современной криминалистики при исследовании видеозаписей допросов и иных следственных действий, когда допрашиваемый заявляет, что (а) показания даны им не самостоятельно, а по подсказке допрашивающего (задавались наводящие вопросы), (б) показания даны под давлением (принуждением), (в) у следствия имеются сомнения в достоверности показаний, причины предполагать оговор или самооговор. Как правило, специалисты в области фоноскопической экспертизы, выделяя ряд лингвистических особенностей, характерных для спонтанной и/или как подготовленной, так и квазиподготовленной устной речи. Исследование акустических коррелятов перцептивно-

слуховых особенностей спонтанной и подготовленной речи на сегментном и супraseгментном уровнях позволяют объективизировать результаты экспертного анализа устной речи при определении степени спонтанности продуцируемой речи и степени ее подготовленности.

25.01-01.377 Акустические характеристики эвенкийских долгих и кратких гласных: к проблеме автоматизации замеров. Каравасова В.Г., Андросова С.В., Морозова О.Н. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 70. Рус.

Целью настоящего исследования является проверка возможностей автоматизации замеров F1 и F2 эвенкийских кратких и долгих гласных, а также их длительности в речи мужчин и женщин старшего возраста на основе средств автоматического анализа данных аннотированного корпуса звучащей речи. Материалом для исследования послужили изолированные слова в трехкратном произнесении, начитанные рамочные конструкции и тексты разных жанров (спонтанная речь, фольклор и др.) из аннотированного корпуса эвенкийского языка, созданного на базе лаборатории фонетики Амурского государственного университета (2011–2023 гг.). Аннотирование речевых образцов производилось вручную опытным сегментатором, затем оценивалось и корректировалось тремя экспертами в области акустики речи и эвенкийской фонетики. Записанный в орфографии материал в формате txt с помощью автоматического транскриптора, разработанного на кафедре иностранных языков АмГУ, был переведен в аллофонную транскрипцию. Файлы с аллофонной транскрипцией были использованы для расширения объема аннотированного корпуса и автоматического создания предварительной разметки соответствующего уровня в формате TextGrid посредством Praat скрипта. Затем был произведен автоматический сбор значений F1, F2 и длительности для дальнейшего экспертного анализа. Результаты их сравнения с замерами, сделанными вручную, показали их высокую сопоставимость. Это означает, что апробированный инструмент будет пригоден для оптимизации акустической обработки звучащей эвенкийской речи больших объемов. Перспективу исследования составит, во-первых, дальнейшая тренировка акустической модели для более эффективной работы инструмента автоматической разметки корпуса.

25.01-01.378 Акустический анализ фоносемантических центров вокализма (на материале православной риторики). Померанцев Н.Д. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 70-71. Рус.

Большинство известных нам культур издревле вкладывает глубокое сакральное значение в силу звука и звучащего слова. Магия, религия и наука сходятся в том, что слово обладает огромным потенциалом воздействия на человека. Одним из вопросов, вызывающих активный интерес у современных языковедов является разностороннее изучение воздействия религиозных текстов на человека. Одним из источников эмоционального воздействия речи на реципиента является свойство звуковой изобразительности языка, проявляющееся в звуковом символизме. Ранее нами были изучены и определены некоторые фоносемантические маркеры в текстах православных молитв, что подтолкнуло нас к изучению их спектральных характеристик. Предполагается, что вокализм играет важную роль в оказываемом эмоциональном воздействии. Приведен обзор результатов поискового исследования, состоящего в акустическом анализе образцов вокализма в православной молитве "Отче Наш". Материалом послужили записи молитвы на разных распевах.

25.01-01.379 Моделирование механизмов слуховой обработки речевых сигналов. Столярова Э.И. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 71. Рус.

В 2024 г. исполняется 100 лет со дня рождения Людмилы Андреевны Чистович (1924–1986) и Валерия Александровича Кожевникова (1924–1981), возглавлявших научные коллективы лаборатории физиологии речи (Чистович Л.А. — в 1961–1985 гг.) и биофизики речи (Кожевников В.А. — в 1961–1981 гг.). Центральной задачей проводимых работ в те годы являлось выяснение принципов обработки речевых сигналов в слуховой системе человека в рамках решения общей проблемы восприятия речи. Существенную роль при решении этой задачи сыграло моделирование механизмов слуховой обработки рече-

вых сигналов, использовавшее данные нейрофизиологических и психоакустических исследований того времени. Представлены реально функционировавшие аналоговые модели и их цифровое воплощение: — Линейная модель слухового спектрально-анализатора и модель двухтонного подавления. — Модель механизмов обработки огибающей сигнала в частотных каналах слуховой системы. Продемонстрированы изображения различных речевых сигналов на выходе моделей по типу традиционных спектрограмм. До настоящего времени модельные представления представляют интерес для интерпретации результатов психоакустических экспериментов, также для выявления возможных причин возникновения нарушений слуха, речи, чтения и письма (например, за счет ошибочной сегментации речевого потока или десинхронизации моментов выделения границ сигналов в различных частотных каналах спектрального анализатора).

25.01-01.380 Распознавание эмоционального состояния детей-близнецов в возрасте 4–6 лет. Куражова А.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 71-72. Рус.

Рассматривается вопрос о возможности распознавания эмоционального состояния детей-близнецов при взаимодействии с матерью. В исследовании приняли участие 5 пар dizygoticных близнецов в возрасте от 4 до 6 лет. Проводили аудиозапись речи детей в ситуациях спонтанного взаимодействия с матерью и в ситуации диалога на заданную тему. Составлены аудиотесты, включающие фрагменты взаимодействия матери с каждым из детей. Аудиотесты прослушивали эксперты с опытом работы в области речевых исследований и аудиторы без опыта, определяли степень выраженности эмоций и эмоциональное состояние — нейтральное, радость, печаль, гнев. Осуществляли инструментальный спектрографический анализ фраз и слов детей в звуковом редакторе Cool Edit Pro. В речи вторых по порядку рождения детей по данным экспертного анализа выявлено больше фраз, в которых дети изменяют интонацию, и соответственно больше фраз, которые эксперты отнесли к категории “эмоциональных”. Показано, что вторые по порядку рождения дети имеют более высокие значения частоты основного тона и формантных частот гласных по сравнению с первыми по порядку рождения детьми.

25.01-01.381 Отражение эмоциональных состояний в речи подростков 12–14 лет: с типичным развитием и интеллектуальными нарушениями. Клеишев Е.А., Ляко Е.Е. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 72. Рус.

Цель исследования — сравнительный анализ отражения эмоциональных состояний в речи типично развивающихся подростков и подростков с интеллектуальными нарушениями. В исследовании приняли участие 25 детей: 15 детей с типичным развитием (ТР) (8 мальчиков, 7 девочек); 10 детей с интеллектуальными нарушениями (ИН) (5 мальчиков, 5 девочек). Ребенку предлагали изобразить голосом пять эмоциональных состояний “радость — нейтральное (спокойное) состояние — печаль — гнев — страх”, произносили тексты бессмыслицы. 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. В перцептивном эксперименте приняли участие 10 аудиторов, результаты перцептивного анализа представляли в виде матриц спутывания. Выявлены различия в акустических характеристиках эмоциональной речи подростков с ТР и ИН: у мальчиков — длительность ударного слова выше у подростков с ИН в нейтральном состоянии и состоянии печали; у девочек — минимальные значения ЧОТ ударного слова выше у подростков с ИН в нейтральном состоянии и состоянии радости. По результатам перцептивного эксперимента показано, что ТР подростки лучше отражают состояния печали и гнева в голосе по сравнению с подростками с ИН. ТР мальчики лучше отражают эмоции по сравнению с мальчиками с ИН.

25.01-01.382 Распознавание эмоционального состояния детей с расстройствами аутистического спектра по характеристикам речи. Николаев А.С., Ляко Е.Е. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 72. Рус.

Цель исследования — изучение распознавания взрослыми эмоционального состояния 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 котором приняли участие взрослые носители русского языка (аудиторы), $n=206$. Созданные для перцептивного эксперимента тестовые последовательности (аудиотесты) содержали фразы детей с РАС и ТР детей, отобранные из записей спонтанной речи. Перед аудиторами стояла задача на основе слухового восприятия эмоционального состояния ребенка: комфорт — нейтральное состояние — дискомфорт. Проведен спектрографический анализ фраз детей с РАС и ТР детей. Анализ акустических характеристик речи детей показал, что состояние дискомфорта у детей с РАС характеризуется максимальными значениями длительности, частоты основного тона (ЧОТ) и ее вариативности по фразам, словам, ударных и безударных гласных по сравнению с соответствующими характеристиками для состояния комфорта и нейтрального состояния. Минимальные значения показаны для нейтрального состояния.

25.01-01.383 Проблемы обработки слабоструктурированной речевой информации в условиях акустических шумов. Мецержков Р.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 73. Рус.

Развитие современных технологий обработки слабоструктурированной речевой информации идет в направлении улучшения больших языковых моделей за счет изменения структуры систем обработки информации и улучшения качества обучающих выборок. Наличие акустических шумов с одной стороны, является фактором для ограничения применимости методов, с другой стороны, для увеличения объемов обучающих выборок на хорошие речевые данные накладываются различные акустические шумы. Очевидно, что для аудитора необходим очищенный от шума сигнал, но для автоматической обработки это не требуется. Ограничения существующих подходов требуют установления более сложных зависимостей с учетом слабой структуризации информации речевого сигнала и формирование метаописания речевого потока. Рассматриваются и классифицируются проблемы на различных уровнях иерархии речевой системы, делаются выводы о применимости различных методов и алгоритмов обработки речевой информации.

25.01-01.384 Разделение прямой и диффузной компонент звука при оценке разборчивости речи в помещении. Столбов М.В. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 73. Рус.

Компьютерные методы акустики получили в настоящее время широкое применение. Тем не менее натурные измерения по-прежнему положены в основу многих методик и стандартов расчета параметров звука в помещениях. В работе рассмотрена задача разделения прямой и диффузной компонент звука для оценки разборчивости речи в помещении. Предложена экспериментальная методика, основанная на применении двухканального временного адаптивного фильтра, на опорный и основной вход которого подаются сигналы ближнего и удаленного микрофона соответственно. Задержка сигнала опорного канала и длина фильтра задаются таким образом, чтобы ранние отражения в опорном и основном каналах не были коррелированными. В результате на выходе опорного канала формируется оценка прямой компоненты сигнала, а на выходе основного канала — оценка и диффузной компоненты. Это позволяет оценить отношение интенсивностей прямой и диффузной звука и радиус реверберации для разных интервалов частот модуляционного спектра. Полученные результаты могут быть применены при оценке разборчивости речи в помещении, разработке мероприятий по дистанционному сбору речевой информации.

25.01-01.385 Адаптивный алгоритм первичного и помехоустойчивого кодирования, обеспечивающий хорошее качество речи. Чучин И.С., Поликанова В.А., Дмитриев В.Т. Акустический журнал. 2024. 70, № 5S, с. 73. Рус.

описаны низкоскоростные и помехоустойчивые кодеки, разработан алгоритм универсального первичного кодека с использованием помехоустойчивых кодеров, адаптивного к скорости

и условиям передачи сообщений. Предложены различные сочетания низкоскоростного первичного и помехоустойчивого кодирования речевых сигналов.

25.01-01.386 Речевой сигнал в решении обратной задачи для выявления коннектома. Харламов А.А., Верхлютов В.М., Бородин Н.С. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 74. Рус.

Выявление коннектома является наиболее актуальной задачей в электроэнцефалографии и магнитоэнцефалографии в настоящее время. Одним из путей решения этой задачи является использование свертки несущего (в данном случае — речевого) сигнала с записями ЭЭГ (МЭГ). В этом случае матрица J диполей тока как источников на промежутке времени записи ЭЭГ, связана с матрицей S признаков — огибающей речевой волны на том же промежутке времени — через так называемую матрицу функций нейротоккового отклика Φ . Матрица измеренных ЭЭГ-сигналов Y связана с матрицей диполей тока J через так называемую матрицу поля L . Если бы нам была известна фоновая активность мозга, то вычисление диполей тока могло бы быть осуществлено решением задачи максимального правдоподобия минимизацией функции $\|Y-L\Phi S\|^2$. Чтобы смягчить некорректный характер этой постановки (отсутствие знаний о фоновой активности), гладкий временной ряд аппроксимируется ядрами Габор из словаря G : $\Phi=TTG^T$ и $S'=G^T S$, и теперь надо решать задачу максимального правдоподобия для функции $\|Y-LTS'\|^2$ с использованием алгоритма *Cham—Lasso*. Однако речевой сигнал и энцефалограмма в традиционных алгоритмах являются сигналами, представленными в разных частотных масштабах. Для соотношения речевого и ЭЭГ (МЭГ) сигналов в рамках свертки, которая используется для выявления коннектома (речевой сигнал — одно(двух-)канальный временной ряд и ЭЭГ (МЭГ) сигнал — временной ряд с числом каналов, равным числу отведений) необходимо к несущему сигналу применить преобразование Гильберта и полученную огибающую речевого сигнала синхронизировать с ЭЭГ сигналами, для чего спроецировать точки информативности огибающей на энцефалограмму. Дальнейший анализ осуществляется исключительно для размеченной энцефалограммы.

25.01-01.387 Эмоции в вокализациях макак резус: к вопросу о возможности определения человеком. Кузнецова Т.Г., Фролова О.В., Голубева И.Ю., Ляко Е.Е. *Акустический журнал*. 2024. 70, № 5S, с. 74. Рус.

Вопрос о существовании базовых эмоций, сходстве их проявления у людей из разных культур, у человекообразных обезьян достаточно широко изучается. Единичными являются исследования вокализаций макак и возможности распознавания их эмоциональных состояний по голосу, что определило цель настоящего исследования. Проведен перцептивный эксперимент, направленный на распознавание людьми — специалистами в области акустики речи и без профессионального опыта, эмоциональных состояний “радость—нейтральное (спокойное)—печаль—гнев” по вокализациям макак. Специалистами, работающими с макаками резус, осуществлена запись, последующий отбор вокализаций, их аннотирование в соответствии с поведенческой ситуацией. Идеология исследования и выбор состояний базируется на подходе, используемом в методике “CEDM”. Обсуждаются результаты перцептивного эксперимента и перспективы дальнейшего развития темы.

25.01-01.388 Различение гребенчатых спектров с разной шириной гребней в норме и при тугоухости. Нечаев Д.И., Милехина О.Н., Томозова М.С., Сунин А.Я. *Сенсорные системы*. 2024. 38, № 1, с. 79-88. Рус.

Частотную разрешающую способность слуха (ЧРС) оценивали по предельной различаемой плотности гребней спектра у испытуемых в возрасте от 26 до 82 лет, характеризующихся различной степенью сохранности/потери слуха: от нормы (normal) до умеренной потери (moderate loss) по классификации Всемирной организации здравоохранения). Оценивали зависимость ЧРС от ширины спектральных гребней. У испытуемых с нормальным слухом наблюдали повышение ЧРС при сужении гребней сигнала, тогда как у испытуемых с потерей слуха этот эффект проявлялся минимально или отсутствовал. Различие в эффекте сужения спектральных гребней между ис-

пытуемыми с нормальным и редуцированным слухом не может быть объяснено моделью спектрального анализа, основанной на концепции профилей возбуждения. Модель временного анализа может объяснить это различие при допущении, что у испытуемых с нормальным слухом увеличение автокорреляции входного сигнала приводит к удлинению задержки, на которой автокорреляция может быть обнаружена, тогда как у испытуемых с редуцированным слухом этот эффект ослаблен или отсутствует.

25.01-01.389 Определение пола диктора по характеристикам голоса на фоне шума многоголосия. Лабутина О.В., Пак С.П., Огородникова Е.А. *Сенсорные системы*. 2024. 38, № 2, с. 54-61. Рус.

Психофизическими методами исследовали особенности опознания пола диктора по характеристикам голоса в условиях действия речеподобной помехи и стимуляции через головные телефоны. Использовали набор речевых сигналов и шум многоголосия из экспериментов в свободном звуковом поле — пространственной сцене (Andreeva et al., 2019). В набор входили 8 двусложных слов, произнесенных 4 дикторами: 2 мужских и 2 женских голоса со средней частотой основного тона 117, 139, 208 и 234 Гц. Шум многоголосия представлял результат микширования всех аудиофайлов (8 слов \times 4 диктора). Соотношение сигнал/шум составляло 1:1, что субъективно соответствовало максимальному уровню зашумления в пространственной сцене (SNR=—14 дБ). В экспериментах участвовали 42 взрослых испытуемых (от 17 до 57 лет). Дополнительно выделяли 3 возрастных подгруппы: 18.6 \pm 1.5 лет ($n=27$); 28 \pm 4.1 лет ($n=7$); 46 \pm 5.4 лет ($n=8$). Все испытуемые обладали нормальным слухом. Результаты исследования и их сравнения с данными указанной работы подтвердили значимость характеристик голоса для слухового анализа сложных пространственных (свободное звуковое поле) и непространственных (головные телефоны) сцен, а также продемонстрировали роль механизмов маскировки и бинаурального восприятия, в частности высокочастотного механизма пространственного слуха. Кроме того, обнаружена зависимость перцептивной оценки гендерных характеристик голоса в шуме от возраста испытуемых и пола дикторов (мужской или женский голос). Результаты имеют практическое значение для организации слухоречевого тренинга, ранней диагностики нарушений помехоустойчивости речевого слуха, а также развития помехоустойчивых систем автоматической верификации дикторов и технологий слухопротезирования.

25.01-01.390 Влияние сенсорно-когнитивных упражнений на показатели восприятия, внимания и памяти у лиц пожилого возраста. Медведев И.С., Пак С.П., Огородникова Е.А. *Сенсорные системы*. 2024. 38, № 4, с. 27-37. Рус.

Представлено исследование влияния сенсорно-когнитивных упражнений на показатели восприятия, внимания и памяти у лиц пожилого и старческого возраста. В экспериментальную группу вошли 16 испытуемых-добровольцев пожилого и старческого возраста (средний возраст 73 \pm 1.7 лет), не имеющих в анамнезе выраженных возраст-зависимых сенсорных и неврологических проблем (данные опроса). Все испытуемые прошли курс сенсорно-когнитивных упражнений в течение 4-х недель, а также психофизическое тестирование и оценку ресурсов психологического здоровья до начала занятий и после их окончания. Показано достоверное улучшение целевых сенсорно-когнитивных показателей (восприятие, внимание, память) в группе обследования и приведена динамика ряда индивидуально-психологических характеристик (тревожности, иерархии в системе ценностей, жизнестойкости и жизнерадостности). Результаты позволяют сделать вывод о том, что разработанный курс сенсорно-когнитивных упражнений способствует актуализации как потенциала сенсорно-когнитивных процессов, так и ресурсов психологического здоровья пожилых людей. Это свидетельствует о профилактической важности функционального тренинга в контексте снижения возрастных рисков развития деменции и достижения целей активного долголетия.

25.01-01.391 Локализация звукового сигнала в условиях маскировки в вертикальной плоскости. Алаева М.Ю. *Сенсорные системы*. 2024. 38, № 4, с. 38-48. Рус.

Исследовано влияние маскера на локализацию звукового сигнала в вертикальной сагиттальной плоскости в условиях маскировки: одновременной и в парадигме эффекта предшествования. В первом случае неподвижные сигнал и маскер предъявлялись одновременно, во втором — начало сигнала сдвигалось относительно начала маскера. Величина сдвига (задержки) составляла 2, 4, 8, 20, 40, 80 и 200 мс. В качестве сигнала и маскера были использованы некоррелированные шумовые послышки с шириной полосы от 5 до 18 кГц. Длительность шумовых посылок — 1 с. Маскер всегда предъявлялся под углом 90° элевации (над головой слушателя), а сигнал из положения 7.5° элевации (перед слушателем относительно межуршной линии). Воспринимаемое угловое положение сигнала в условиях маскировки сравнивалось с пространственными оценками того же сигнала при его изолированном предъявлении (без маскера), аналогично локализация маскера в условиях маскировки сравнивалась с воспринимаемым положением изолированного маскера (без сигнала). Показано, что под действием маскировки вероятность обнаружения сигнала уменьшалась. При задержках от 0 до 40 мс слушатели в основном показывали воспринимаемое положение маскера, которое было смещено в сторону сигнала независимо от величины задержки и достоверно отличалось от воспринимаемого положения одиночного маскера. Вероятность локализации сигнала при этих задержках составляла не больше 8%. При задержках от 80 мс и выше вероятность локализации сигнала увеличивалась и составляла 92% и выше. Воспринимаемое положение сигнала не зависело от величины задержки и достоверно не отличалось от положения одиночного сигнала.

25.01-01.392 Состояние пространственного слуха при симметричной сенсоневральной тугоухости 1-й и 2-й степени по данным опросника SHQ. *Клишова Е.А., Голованова Л.Е., Андреева И.Г. Сенсорные системы.* 2024. 38, № 4, с. 49-59. Рус.

Исследовано состояние пространственного слуха у пациентов с симметричной хронической сенсо-невральной тугоухостью (СНТ) 1-й и 2-й степени с применением русскоязычной версии опросника пространственного слуха. Обследован 141 пациент в возрасте от 47 до 82 лет. Сравнительный анализ выполняли в группах возрастной нормы слуха, СНТ 1-й и 2-й степени. Показано достоверное ухудшение пространственного восприятия, выявленное по результатам опроса в обеих группах с СНТ, причем по ряду показателей группы 1-й и 2-й степени достоверно различались. Ухудшение пространственного восприятия, выявленное при анализе подшкал опросника, и количественные оценки пространственного и временного разрешения, полученные ранее при СНТ 1-й и 2-й степени, находились в хорошем соответствии. При СНТ 2-й степени достоверно были снижены оценки всех четырех подшкал опросника. В клинической практике этот опросник можно применять в качестве скринингового метода оценки пространственного слуха у пациентов с СНТ.

25.01-01.393 Представленность сердечных сокращений в слуховых отделах височной коры у ненаркотизированной кошки. *Бибиков Н.Г., Пигарев И.Н. Сенсорные системы.* 2024. 38, № 4, с. 60-77. Рус.

Исследование того, как корковые нейроны реагируют на интероцептивные сигналы, остается сложной задачей, имеющей решающее значение для понимания самосознания у развитых млекопитающих, включая человека. Фундаментальный аспект, находящийся под пристальным вниманием исследователей, заключается в том, могут ли нейронные сети в коре головного мозга животных точно отражать внутренние состояния организма, особенно сердечную деятельность. Чтобы выяснить это, мы провели исследование нейронов височной коры бодрствующих и спящих кошек, используя уникальную установку, позволяющую непрерывно регистрировать локальные потенциалы и активность одиночных нейронов в определенных областях коры, а также отслеживать различные физиологические параметры животного, включая кардиограмму. Результаты показали, что в первичной слуховой коре (AI) активность, синхронизированная с сердечбиением, либо отсутствовала, либо проявлялась крайне слабо. В то же время вторичные слуховые зоны височной коры, локализованные в передней эктосильвиевой борозде и в задней эктосильвиевой извилине, демонстрировали синхро-

низацию с частотой сердечных сокращений. Эта синхронизация была особенно очевидна в локальных потенциалах, однако некоторые одиночные нейроны, отвечающие на звуковые сигналы, также проявляли ритмическую активность, синхронную с сокращениями сердца. Форма фазовых гистограмм, построенных на периоде кардиограммы, предполагает, что эта синхронизация обеспечивает получение корой информации о состоянии внутренней среды организма. Эти данные побуждают к рассмотрению гипотезы о возникновении первичного самосознания вследствие динамического взаимодействия нейронных ансамблей, представляющих соответственно внешнюю сенсорную информацию и информацию от внутренних органов, прежде всего от сердца. Такое взаимодействие может лежать в основе чувства собственного «Я» у высокоразвитых организмов.

Физиологическая и психологическая акустика

25.01-01.394 Морфология и некоторые слуховые механизмы наружных ушей дельфина афалина (*Tursiops truncatus*) и человека. *Рябов В.А. Акустический журнал.* 2024. 70, № 6, с. 941-952. Рус.

Установлено, что роль наружных слуховых проходов у дельфина играют соответствующие подбородочные каналы, мандибулярные каналы и мягкие ткани, заполняющие каналы. Показано, что слуховые проходы дельфина максимально вынесены на острие роострума навстречу отраженным от подводных объектов эхо и звукам, в отличие от слуховых проходов человека, расположенных по бокам головы. У дельфина механизмы формирования уникальных признаков локализации эхо и звука в пространстве обусловлены асимметрией морфологических структур левого и правого наружного уха, их волновыми размерами, а также количеством слуховых проходов, их положением и архитектурой. Однако у человека эти механизмы обусловлены симметрией расположения слуховых проходов и ушных раковин на левой и правой половине головы и расстоянием между ними. У дельфина наружные уши адаптированы для утилизации деструктивной интерференции когерентных эхо от мешающих объектов с целью повышения отношения полезное эхо/мешающее отражение. В целом слух дельфина как часть его эхолокационной системы, и слух человека, обуславливают принципиальные различия морфологии и слуховых механизмов уже на уровне их наружных ушей.

См. также **25.01-01.374**, **25.01-01.390**, **25.01-01.391**, **25.01-01.392**, **25.01-01.393**

Акустика эхолоцирующих животных

См. **25.01-01.394**

Звукообразование и восприятие акустических сигналов животными

25.01-01.395 К вопросу о специфике реакции нейронов слуховой системы наземных позвоночных на видовые коммуникационные стимулы (аналитический обзор). *Бибиков Н.Г. Сенсорные системы.* 2024. 38, № 2, с. 3-27. Рус.

Одной из основных функций сенсорных систем является осуществление внутривидового общения, которое часто происходит путем обмена коммуникационными звуковыми сигналами. Естественным возникает гипотеза о том, что излучение и прием этих сигналов должны быть согласованы. В самом деле, обычно наблюдается сходство характеристик звуков видового общения и приемных устройств слухового анализатора. Однако степень такого соответствия в нейронных структурах головного мозга остается предметом оживленных дискуссий. В обзоре рассматриваются исследования, направленные на решение вопроса о специализированном кодировании видовых сигналов у разных наземных позвоночных. В течение многих десятилетий исследователи стремились найти нейроны, служащие детекторами сигналов внутривидового общения. Однако анализ литературы не выявляет существования областей прямого слухового пути, специализированных для выделения только этой категории

звуков. Представляется, что функция нейронов, составляющих его ядра, состоит в выделении особенностей временного течения звуков, воспринятых слуховым нервом. Этот процесс осуществляется на обучаемых синаптических связях в процессе перманентной эволюции, определяемой сенсорным окружением. В центральных отделах могут формироваться динамически организуемые ансамбли нейронов, синхронно реагирующих при действии определенного звука. Такие ансамбли могут рассматриваться в качестве выходных структур слухового анализатора, определяющих восприятие сигнала и моторные реакции организма.

25.01-01.396 Слуховая система кровососущих комаров (Diptera, Culicidae). Лапшин Д.Н. *Сенсорные системы.* 2024. 38, № 3, с. 3-30. Рус.

В обзоре приведено описание морфологии слуховых органов комаров — антенн и джонстоновых органов. Рассмотрены пространственные и частотные характеристики слуховых рецепторов в составе джонстоновых органов. Обсуждены принципы функционирования механизмов механотрансдукции в рецепторах. Приведены результаты исследования специфики восприятия комарами акустических сигналов при действии на их слуховую систему вибрации от машущих крыльев. Проанализирована роль акустической коммуникации в репродуктивном поведении комаров.

25.01-01.397 Водопровод улитки и его значение в патологии слуха. Обзор литературы и собственное наблюдение.

дение. *Торопчина Л.В. Сенсорные системы.* 2024. 38, № 4, с. 19-26. Рус.

Представлен обзор литературы о водопроводе улитки человека. Приведены особенности анатомии водопровода улитки, ставшие доступными при использовании высокоразрешающей компьютерной томографии височных костей, методы оценки размеров водопровода улитки, типы водопроводов улитки и причины иногда встречающегося отсутствия визуализации водопровода улитки на компьютерных томограммах. Анализируются критерии и правомерность понятий “широкий” и “узкий” водопровод улитки, проходимость водопровода улитки и ее изменения с возрастом, роль водопровода улитки в возникновении гнойного воспаления в структурах лабиринта внутреннего уха, перилимфатической гипертензии и временной перилимфатической гипотензии. Данные литературы показывают, что возможно существование анатомически и функционального широкого, а точнее, излишне проходимого водопровода улитки. Обсуждаются патологические состояния водопровода улитки и его взаимодействие с соседними анатомическими структурами. Приведено клиническое наблюдение односторонней флюктуирующей тугоухости, при котором на компьютерной томограмме была выявлена врожденная аномалия развития внутреннего уха — дегисценция между аномально крупной луковидной яремной вены и водопроводом улитки. Чтобы оценить вклад водопровода в патологию внутреннего уха, требуется большее внимание к этой анатомической структуре и дальнейшее накопление данных.

Физические основы технической акустики

Устройства для генерации, репродукции, приема акустических сигналов

25.01-01.398 О генерации звука лазерным излучением в однокомпонентном газе. Сурдутович Е.А. *Учен. зап. ЦАГИ.* 1991. 22, № 1, с. 101-102. Рус.

Рассматривается модуляция звуковых волн в газе на основе механизма светоиндуцированного дрейфа. Аналитически получена зависимость возмущения давления в пространстве от времени при возбуждении в полосе и в цилиндре.

Акустические измерения и аппаратура

25.01-01.399 Акустическая эмиссия при фазовом переходе «кристалл—жидкость» в сотовой структуре типа «пчелиных сот». Асеев Е.М. *Ученые записки физического ф-та МГУ.* 2024, № 6, с. 2460302. Рус.

Экспериментально изучается сложная система, представляющая собой сотовую структуру, сопряженную по нормали с композиционной структурой, и содержащая внутри себя дефект типа «конденсат воды» в виде кристалликов льда. Для обнаружения такого дефекта используется явление акустической эмиссии. Обычно для возникновения акустической эмиссии прибегают к механическому воздействию на объект. Но, в отличие от этого традиционного нагружения (сжатия или растяжения) образца внешними силами, здесь используется вариация температурного поля, в которое помещен образец. В процессе нагревания экспериментального образца начинается фазовый переход «лед—вода», приводящий к явлению акустической эмиссии. Зависимости амплитуд акустических сигналов от времени и от скорости изменения температуры обнаруживают четкое отличие образцов с дефектом «скопление воды» от образцов без таких дефектов.

25.01-01.400 Измерительная система для испытаний модулятора генератора звука. Иванушкин И.С., Стерлин А.Я., Фурман А.В. *Учен. зап. ЦАГИ.* 2024. 55, № 1, с. 73-78. Рус.

Изготовлена измерительная система для определения перемещений подвижного элемента (затвора) клапанного узла генератора звука и измерения температуры обмотки возбужде-

ния электромагнитного движителя, приводящего затвор в колебательное движение. Использование системы необходимо при разработке и эксплуатации генератора звука (шума) для прочностных акустических испытаний.

25.01-01.401 Профилирование акватории перед акустическими испытаниями. Петрусев А.С. *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 50. Рус.

В прикладных задачах гидроакустики имеет большое значение характер и скорость распространения акустических волн в водной среде. На их распространение влияют: близость слоя скачка (плотности, солености, температуры), акустические каналы, глубина, рельеф и характер дна. Поэтому для понимания общей картины распространения акустических сигналов в акватории необходимо производить профилирование скорости звука перед началом акустических испытаний. Это позволяет выбрать оптимальное расположение и глубину для установки приемозлучающих трактов и прочего оборудования. В работе рассматриваются методы и процесс измерения профиля скорости звука в открытом водоеме, проводится анализ данных, полученных в разное время года, а также в разное время суток.

25.01-01.402 Компенсация непостоянства скорости звука при измерении акустической голограммы ультразвукового излучателя методом растрового сканирования в условиях переменной температуры. Цысарь С.А., Саматов А.А., Сапожников О.А. *Акустический журнал.* 2024. 70, № 5S, с. 50. Рус.

Постановка точного граничного условия для решения задачи излучения важна для ряда практических применений ультразвука, в особенности при использовании мощных полей для воздействия на биологические ткани. Одним из методов, позволяющих экспериментально определить колебательную скорость на поверхности излучателя, является акустическая голография. Она основана на измерении двумерного распределения акустического давления в плоскости перед источником. Полученное распределение выступает в роли голограммы и позволяет рассчитать параметры поля на поверхности излучателя. Запись голограммы осуществляется путем растрового перемещения приемника. Если в процессе такого сканирования (которое может потребовать нескольких часов) изменяется температура среды, из-за непостоянства скорости звука возникают искаже-

ния голограммы. Особенно существенны эти искажения для голограмм больших волновых размеров, требующих длительной записи. Для компенсации возникающих ошибок в настоящей работе предложен и апробирован метод, основанный на регистрации температуры в процессе записи голограммы и внесении коррекции в скорость звука при использовании интеграла Рэлея в численном алгоритме переноса измеренной голограммы на поверхность излучателя. Эксперименты проводились в воде для нескольких фокусированных излучателей мегагерцового диапазона частот сантиметровых размеров. С помощью нагревателя температура воды изменялась в процессе записи голограмм в пределах нескольких градусов. Обнаружено, что в случае отклонения температуры до 7 градусов от равновесной, ошибка определения колебательной скорости поверхности источника может превышать 50%. Показано, что при применении предложенного метода компенсации отклонение относительно голограммы, записанной при постоянной температуре, не превышает 10%.

См. также 25.01-01.29, 25.01-01.46, 25.01-01.126, 25.01-01.178, 25.01-01.253, 25.01-01.282

Акустическая диагностика и неразрушающий контроль

25.01-01.403 Условия распространения трещин в герметичных отсеках орбитальных космических станций. *Беляев В.В., Лебедев А.С. Труды МАИ.* 2024, № 4(137), с. <https://trudymai.ru/published.php?ID=181876>. Рус.

Выявлены критерии распространения трещин в оболочках герметичных отсеков и элементов космических станций в зависимости от характерных размеров трещин и возможных уровней эксплуатационных нагрузок. Представлены типовые диаграммы условий распространения поверхностных и сквозных трещин в элементах герметичных отсеков орбитальных космических средств. Данные диаграммы учитывают асимметрию цикла нагружения, внешние условия (вакуум и воздух). Формирование порогов усталости малых и коротких трещин также учтено указанными диаграммами. Полученные результаты представляют значительный интерес для оперативного диагностирования технического состояния орбитальных космических средств.

25.01-01.404 Особенности акустико-электрических методов мониторинга разрушения твердых диэлектриков. *Беспалько А.А., Данн Д.Д., Ло Ц., Федотов П.И. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2023. 20, № 3, с. 352-364. Рус.

Представлены результаты исследований характеристик и параметров механико- и акустико-электрических преобразований. Изучены закономерные связи характеристик электромагнитной эмиссии и параметров электромагнитных сигналов при образовании трещин и наличии слоистости структуры твердых диэлектрических материалов при детерминированном импульсном акустическом воздействии. Приведены экспериментальные результаты влияния зарядового состояния слоистых структур на параметры электромагнитных сигналов. На примере сложной структуры неметаллических образцов горных пород приведены закономерности изменений характеристик электромагнитной эмиссии. Используя эти закономерности, показана возможность определять этапы развития разрушения при непрерывном одноосном нагружении сжатием до разрушения образца, в том числе этап образования и развития деструктивной зоны. Изучены закономерности изменения параметров акустико-электрических преобразований при внешних детерминированных импульсных воздействиях на исследуемые естественные и модельные диэлектрические структуры при ступенчатом нагружении одноосным сжатием. Анализируются особенности каждого из используемых методов применительно к контролю процессов развития разрушения.

25.01-01.405 Динамика волновых процессов в слое фосфорене при непрерывном сжатии. *Шепелев И.А., Колесников И.Д., Дмитриев С.В. Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2024. 210, № 1, с. 50-58. Рус.

В рамках данного исследования проведен детальный анализ волновых процессов в двумерной структуре черного фосфорена под воздействием непрерывного продольного сжатия. Это сжатие осуществлялось строго в двух кристаллографических ориентациях фосфорена — либо в направлении "зигзаг либо в направлении "кресла". Сложная атомная геометрия фосфорена, значительно отличающаяся от структуры графена, вносит дополнительные особенности в динамику распространения волн, возникающих в материале в результате сжатия. Для моделирования динамических явлений были применены методы молекулярной динамики. Процесс возбуждения акустических и ударных волн был инициирован с помощью сжимающего поршня, движущегося с постоянной заданной скоростью. В ходе исследования был проведен детальный анализ распространения волнового фронта на атомном уровне. В рамках этого анализа были изучены колебания атомов, проходящих через волны, и изменения энергетических параметров атомов и волны в зависимости от скорости движения поршня. Полученные результаты вносят вклад в понимание нелинейных волновых процессов в двумерных материалах и расширяют представления о поведении волн в сложных геометрических кристаллических структурах. Это исследование помогает получить более глубокое понимание механизмов распространения и эволюции ударных и акустических волн в таких материалах, как фосфорен, и имеет важное значение для разработки новых наноматериалов и технологий. Полученные результаты расширяют наше понимание динамики материалов на атомном уровне и могут найти практическое применение в области нанотехнологий и разработки новых материалов с улучшенными свойствами. Ключевые слова: акустические волны, двумерные материалы, фосфорен, непрерывное сжатие, молекулярная динамика.

25.01-01.406 Статистическая модель акустической эмиссии дефектов в материалах и конструкциях при деформации. *Бородин Ю.П., Гулевский И.В. Учен. зап. ЦАГИ.* 1980. 11, № 2, с. 86-95. Рус.

Предложена статистическая модель акустической эмиссии дефектов в материалах и конструкциях, устанавливающая зависимость параметров сигналов акустической эмиссии от изменений напряженно-деформированного состояния и свойств материалов. Сигнал акустической эмиссии описан как импульсный случайный процесс. Показано, что "эмиссионные свойства" материалов определяются двумерной функцией распределения источников по амплитуде и интенсивности деформаций и средней плотностью источников. Предложен способ экспериментального исследования эмиссионных свойств материалов при испытаниях в условиях однородного напряженного состояния. Приведены результаты эксперимента на образцах из материала Д16АТ.

25.01-01.407 Алгоритм нечеткой логики в системе акустико-эмиссионной диагностики КАЭМС. *Яковлев А.В., Балдычев С.В. Техническая акустика.* 2024, № 1, с. <https://www.ejta.org/ru/iakovlev2>. Рус.

Представлена актуальная версия алгоритма комплексной оценки степени опасности акустических импульсов, реализованного с использованием метода нечеткой логики в программном обеспечении системы акустико-эмиссионной диагностики КАЭМС. Подробно описаны логические правила и параметры акустических импульсов, необходимые для применения алгоритма. Приведен пример использования этого алгоритма при акустико-эмиссионной диагностике крупногабаритного объекта.

См. также 25.01-01.55, 25.01-01.282, 25.01-01.399

Акустические методы обработки материалов и изделий

25.01-01.408 Импульсное лазерное воздействие на чистый алюминий. *Симаков С.В., Виноградова Н.А., Никитушкина О.Н. Физика и химия обработки материалов.* 2022, № 3, с. 14-19. Рус.

Исследовано влияние лазерного воздействия на структуру модельного материала — чистого алюминия. Лазерную обработку образцов алюминия проводили на Nd:YAG лазере мощно-

стью 15 Дж, 10 импульсами с длительностью $5 \cdot 10^{-8}$ с. В эксперименте использовали прозрачную среду, для исключения влияния термического механизма и создания условий для ударно-волнового механизма воздействия на материал. Исследование структуры осуществляли методом просвечивающей электронной микроскопии. После лазерного облучения в чистом алюминии обнаружено образование кристаллографически ориентированных пустот с поперечными размерами 50–100 нм и длиной до 500–800 нм. Обсуждается механизм образования подобных структур.

25.01-01.409 Образование поверхностных микротрещин и выброс частиц в вакуум при облучении сплава системы алюминий—магний в установке плазменный фокус “Вихрь”. Колокольцев В.Н., Пименов В.Н., Демин А.С., Морозов Е.В., Масляев С.А., Боровицкая И.В., Гайдар А.И. *Физика и химия обработки материалов*. 2022, № 4, с. 5-14. Рус.

Исследован выброс частиц в вакуум при образовании микротрещин в пленке на поверхности модельного сплава системы алюминий—магний (типа АМГ) под воздействием импульсных пучково-плазменных потоков с плотностью мощности $q \sim (10^6 - 5 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2)$ в установке плазменный фокус “Вихрь”. Образование микротрещин в поверхностной пленке тугоплавкого оксида алюминия (Al_2O_3) происходит вследствие процессов ее распыления, механического воздействия импульсных потоков энергии и возникающих в поверхностном слое термических напряжений. Выброс частиц сплава через микротрещины в оксидной пленке наблюдается после расплавления поверхностного слоя сплава при $q \geq 10^7 \text{ Вт/см}^2$. Отмечено возможное влияние подобного эффекта на процесс выброса пылевых частиц в установках термоядерного синтеза.

25.01-01.410 Исследование распространения теплового фронта и деформаций в металлической пластине при воздействии лазерного импульса и механического удара. Банишев А.Ф. *Физика и химия обработки материалов*. 2022, № 5, с. 5-11. Рус.

Исследовано распространение тепла и термодформации в тонкой металлической пластине из нержавеющей стали при воздействии лазерного импульса. Визуализация распространения тепла и термодформаций проведена с помощью тепловизора и термо-механолюминесцирующего композиционного материала, приготовленного на основе полимера и порошка люминофора и нанесенного на поверхность исследуемой пластины. По термолюминесценции композиционного слоя определена скорость распространения тепла в пластине. Также исследованы деформации, возникающие в результате удара и пробоя пластины байком с коническим наконечником, с помощью механолюминесценции композиционного слоя нанесенного на поверхность пластины. Показано, что используемый композиционный материал позволяет с хорошим пространственным и временным разрешением визуализировать скорость распространения и распределение температуры в области воздействия лазерного импульса и механические напряжения и деформации в зоне разрушения (разрыва) металлической пластины при ударном воздействии.

25.01-01.411 Особенности и эффективность наносекундной лазерной абляции высокоуглеродистой стали сканирующим пучком импульсного излучения YB:YAG лазера. Михайлов С.Б., Горный С.Г., Шариков А.Н. *Физика и химия обработки материалов*. 2023, № 2, с. 18-32. Рус.

Приведены результаты экспериментов по абляции мишеней из высокоуглеродистой У13 и низкоуглеродистой Ст30 сталей сканирующим пучком импульсного излучения лазера наносекундного диапазона длительности. Определена зависимость глубины и энергетической эффективности абляции от плотности мощности в диапазоне $q = 4 \cdot 10^8 - 10^{10} \text{ Вт/см}^2$. Установлено, что максимальная эффективность удаления материала достигает-

ся при значении $q = 4 \cdot 10^9 \text{ Вт/см}^2$ для мишени из стали У13 и в диапазоне $q = 7 \cdot 10^8 - 5 \cdot 10^9 \text{ Вт/см}^2$ для стали Ст30. Определено распределение вылетевших микрочастиц по размерам. Установлено, что при облучении высокоуглеродистой стали возникает поток частиц, оседающих на поверхности мишени (обратный поток), механизм которого связан с образованием наноразмерных частиц конденсата. На основании измерений отражательной способности и исследования микроструктуры облученной поверхности методами электронной микроскопии выдвинуто предположение, что более высокая эффективность абляции высокоуглеродистой стали У13 по сравнению с низкоуглеродистой сталью Ст30 определяется процессом конденсации пересыщенных паров углерода на поверхности мишени, что увеличивает поглощательную способность облученной поверхности мишени и, в результате, возрастает эффективность удаления материала при последующем сканирующем проходе.

25.01-01.412 Режимы облучения и фазовый взрыв при абляции стальных мишеней сканирующим пучком импульсного излучения YB:YAG лазера наносекундного диапазона длительности. Михайлов С.Б., Горный С.Г., Жуков Н.В. *Физика и химия обработки материалов*. 2024, 60, № 4, с. 16-25. Рус.

Приведены результаты экспериментов по абляции стальных мишеней сканирующим пучком импульсного излучения лазера наносекундного диапазона длительности. Определены зависимости глубины и энергетической эффективности абляции от плотности мощности в диапазоне плотности мощности $q = 2 \cdot 10^8 - 7 \cdot 10^8 \text{ Вт/см}^2$. Установлено, что при облучении мишеней из углеродистых сталей в процессе абляции реализуется механизм взрывного вскипания (фазовый взрыв), для характеристики которого введено понятие “силы взрыва” — Pe . Приведены значения Pe , определённые по опубликованным данным для различных материалов. Установлена зависимость глубины абляции от интервала между импульсами и рассмотрены физические процессы, обуславливающие её ход.

Акустические стандарты

25.01-01.413 Акустические проекты в формате citizen science. Новые тенденции. Егеров С.В. *Акустический журнал*. 2024, 70, № 5S, с. 4. Рус.

Наука граждан (англ. citizen science, CS) — организационная форма научных исследований с привлечением учеными-профессионалами добровольцев-любителей (неспециалистов), поставляющих, обрабатывающих или интерпретирующих массивы данных. Участие широкой общественности в децентрализованных или распределенных исследовательских проектах становится все более распространенным. Дается сравнительный анализ организационных характеристик, а также технических средств наиболее известных акустических CS проектов: SONYC, Noise Maps (шумометрия в городских условиях); eBird (мониторинг пения птиц); Bat Detective (звуклокация у летучих мышей); Whale FM, Project CETI (коммуникация морских млекопитающих) и других. Быстрое развитие CS проектов связано с всё возрастающей ролью информационно-коммуникационных технологий. Так, CS проекты с “акустическим содержанием” часто пересекаются с проектами кооперативного зондирования. В свою очередь, эти проекты предполагают использование добровольцами смартфонов и других технических средств для регистрации и обработки акустических сигналов. Приводится обзор программной оснащённости проектов, в частности, анализируются образцы соответствующего мобильного программного обеспечения: SPLnFFT, Decibel X, Noise Hunter, Sound Meter, Noise Meter и других. Показано современное место акустических CS проектов среди распределенных проектов в других направлениях, дается прогноз распространения практики добровольческих исследований в современных условиях.

Акустика в инженерном деле

См. 25.01-01.408, 25.01-01.409, 25.01-01.410, 25.01-01.411, 25.01-01.412

Физика

25.01-01.414 Генерация синтетических документов для задачи визуального понимания документов. Synthetic document generation for the task of visual document understanding. *Khechoyan Kh.S. Ученые записки ЕГУ, физико-математических наук.* 2024. 58, № 3, с. 79-87. Англ.

Для решения задачи анализа документов методами машинного обучения необходимо большое количество размеченных данных. Такие данные не всегда доступны, а если и доступны, то охватывают только определенные типы документов. Нами представлен метод создания синтетических данных, позволяющий создавать документы любого типа, предварительно определив компоненты документа. Изменяя расположение компонентов документов, текстовое содержание и визуальные элементы с помощью конфигураций, мы создаем разнообразные и реалистичные наборы данных, имитирующие реальные документы. Этот метод решает проблему нехватки размеченных наборов данных и предлагает гибкое решение для улучшения результатов модели машинного обучения. DOI: <https://doi.org/10.46991/PYSUA.2024.58.3.079>.

25.01-01.415 Контекстуальный реализм в физике. *Прись Ф.И. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1644. Рус.

В рамках широкого витгенштейновского подхода критикуется метафизический реализм, структурный реализм и платонизм в философии физики и предлагается заменить их тем, что называется «контекстуальный научный реализм». Согласно этой позиции, онтология чувствительна к контексту. Эта точка зрения иллюстрируется как обычными, так и физическими примерами. В частности, утверждается, что бозон Хиггса является контекстуальной сущностью в рамках Стандартной модели и практики ее применения и что в некотором смысле природа гравитационных волн зависит от выбора физической теории для их описания. Физическая теория интерпретируется как витгенштейновское правило (норма) измерения физической реальности в рамках языковых игр и ее приложений. Контекстуальный научный реализм объясняет успех лучших научных теорий и (не) решает проблему пессимистической метаиндукции.

25.01-01.416 Времениподобные и изотропные геодезические Вселенной Гёделя как группы Ли с левоинвариантной лоренцевой метрикой. *Берестовский В.Н. Сибирский математический журнал.* 2024. 65, № 5, с. 795-807. Рус.

Изучается Вселенная Гёделя как группа Ли с левоинвариантной лоренцевой метрикой. Методами геометрической теории оптимального управления для поиска геодезических на группах Ли с левоинвариантными (суб)лоренцевыми метриками найдены выражения для времениподобных и изотропных геодезических в элементарных функциях. Доказано, что у Вселенной Гё-

деля нет времениподобных и изотропных замкнутых геодезических. Последнему результату уделено особое внимание. Ключевые слова: времениподобная геодезическая, Вселенная Гёделя, группа Ли, изотропная геодезическая, замкнутая времениподобная кривая, замкнутая изотропная кривая, левоинвариантная лоренцева метрика.

25.01-01.417 Экстремали индуцированной сублоренцевой структуры на Вселенной Гёделя. *Берестовский В.Н. Сибирский математический журнал.* 2024. 65, № 6, с. 1115-1127. Рус.

Изучается Вселенная Гёделя как группа Ли с индуцированной левоинвариантной сублоренцевой структурой, определяемой некоторым собственным порождающим алгебру Ли подпространством. Методами геометрической теории оптимального управления найдены времениподобные и изотропные экстремали в терминах элементарных функций. Установлено, что эти экстремали не замкнуты, но, как правило, не являются полными, с отличными от вещественной прямой открытыми интервалами как максимальными связными областями определения. Ключевые слова: алгебра Ли, времениподобная экстремаль, Вселенная Гёделя, группа Ли, изотропная экстремаль, индуцированная левоинвариантная сублоренцева структура, ортонормированный базис.

25.01-01.418 О выводе гравитационного сдвига частоты из закона сохранения энергии. *Д'Абрамо Д. УФН.* 2025. 195, № 1, с. 94-100. Рус.

Мысленные эксперименты в физике являются впечатляющими средствами рассуждений. Они представляют собой ценные инструменты, помогающие учёным получать новые результаты и обучать студентов известным. Мы показываем, однако, что их следует воспринимать с осторожностью, даже если они кратчайшим путём ведут к «доказательству» общепринятых результатов. Мы показываем, что самые известные мысленные эксперименты, предложенные для вывода гравитационного сдвига частоты из закона сохранения энергии, в действительности содержат проблемы. При правильной постановке и правильном понимании из них следует, что существование гравитационного сдвига частоты фактически противоречит закону сохранения энергии. В поддержку такого заключения мы также предлагаем два новых простых мысленных эксперимента, в одном из которых используется закон сохранения энергии, а в другом — закон сохранения импульса; они показывают, что из этих законов сохранения не следует гравитационный сдвиг частоты. Наши результаты могут представлять собой определённый эпистемологический интерес и могут служить предупреждением в отношении того, как следует воспринимать мысленные эксперименты и до какой степени можно на них полагаться.

См. также 25.01-01.6, 25.01-01.145

Астрономия

25.01-01.419 Аппаратно-программный анализ сигналов промежуточных частот на основе многофункциональной цифровой системы преобразования сигналов. *Гренков С.А., Маршалов Д.А., Михайлов А.Г., Устинов А.Б., Федотов Л.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 68.* 2024, с. 3-8. Рус.

В ИПА РАН создана новая многофункциональная цифровая система преобразования сигналов (МСПС), которой оснащаются все радиотелескопы комплекса «Квазар-КВО». Система размещена непосредственно на антенне радиотелескопа, что позволяет значительно сократить длину сигнальных трактов, а также избавиться от высокочастотных фидерных линий, в том числе подвижных частей, располагающихся между антен-

ной и аппаратным помещением. Однако такое размещение системы приводит к тому, что в процессе радиоастрономических наблюдений контроль за работой МСПС и анализ преобразуемых ею сигналов возможны только в дистанционном режиме с помощью оператора, находящегося в аппаратном помещении. Для решения этой проблемы при проектировании в систему были заложены специальные аппаратно-программные инструменты, обеспечивающие широкие возможности по диагностике работы МСПС и анализу обрабатываемых ею сигналов. Следующим шагом стала разработка специального программного обеспечения центрального компьютера управления радиотелескопом, обеспечивающего поддержку реализованных инструментов анализа и диагностики, а также создание удобного и

наглядного интерфейса для предоставления необходимой информации оператору. В статье дано описание программного обеспечения, предназначенного для реализации контрольных функций МСПС: измерения мощности сигнала в каждом канале, контроля спектров мощности и фазовых спектров, контроля фазочастотных характеристик каналов, групповой задержки сигнала в каждом канале, фазы гармоник сигнала фазовой калибровки. Эти функции предоставляют оператору все необходимые возможности для управления системой и анализа сигналов, поступающих на ее вход. Приведено описание средств анализа сигналов, заложенных в конфигурации программируемых логических интегральных схем в каналах МСПС. Рассмотрен интерфейс оператора для анализа сигналов промежуточных частот, а также состав и возможности разработанного для МСПС программного обеспечения, которое интегрировано в структуру стандартного программного обеспечения центрального компьютера управления радиотелескопом. Приводятся примеры и результаты использования предусмотренных в МСПС инструментов контроля и анализа сигналов в реальных радиоастрономических наблюдениях.

25.01-01.420 Об уточнении характеристик изотопных фильтров для квантовых стандартов частоты на рубидиевой газовой ячейке традиционного типа. Березовская О.В., Кудрявцева А.В., Смирнова Г.М., Хуторщиков М.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 68. 2024, с. 9-14. Рус.

Статья посвящена исследованию свойств и характеристик изотопных фильтров, осуществляющих фильтрацию сверхтонких компонент основного состояния в атомах рубидия, находящихся в ячейке поглощения дискриминатора квантового из состава квантового стандарта частоты на рубидиевой газовой ячейке с источником оптической накачки на безэлектродной спектральной лампе. Работа выполнена с целью изучения возможности снижения влияния флуктуаций температуры безэлектродной спектральной лампы на сдвиги резонансной частоты в ячейке поглощения в зависимости от исследуемых свойств изотопного фильтра. Представлены результаты комплексных исследований эффективности оптической накачки и сдвигов частоты в ячейке поглощения при использовании изотопных фильтров в зависимости от давления аргона в них в диапазоне 100–220 торр и их температуры 82–92°C. На основании изучения полученных данных были сделаны выводы, что минимальное влияние флуктуаций температуры безэлектродной спектральной лампы на сдвиги резонансной частоты ячейки поглощения обеспечивается при использовании фильтра с давлением аргона 150 торр при температуре 82°C.

25.01-01.421 О комплексном подходе к оценке характеристик бортовых стандартов частоты и точности поправок к бортовым шкалам времени ГНСС. Шупен К.Г., Сальцберг А.В., Нечаева О.Е. Труды Института прикладной астрономии РАН № 68. 2024, с. 15-25. Рус.

При анализе функционирования ГНСС требуется постоянное сопровождение и оперативное подтверждение точностных характеристик бортовых стандартов частоты и характеристик точности частотно-временного обеспечения, основной из которых является точность определения частотно-временных поправок на расхождение бортовой шкалы времени космического аппарата относительно системной шкалы времени ГНСС. С этой целью авторами разработан комплексный подход к оценке характеристик бортовых стандартов частоты и точности прогнозирования частотно-временных поправок, выполнен сравнительный анализ данных от различных источников, представлены результаты оценки точности прогнозирования поправок к бортовым шкалам времени, доступных через навигационный сигнал космических аппаратов систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo и BeiDou. Полученные результаты дают возможность качественного анализа состояния стандартов частоты при эксплуатации на основе информации различных центров обработки данных, сравнения точностных характеристик различных ГНСС, совершенствования методов прогнозирования частотно-временных поправок, что в итоге может улучшить эксплуатационные характеристики системы ГЛОНАСС.

25.01-01.422 Сравнение характеристик бортовых стандартов частоты на основе высокоточных данных

международной службы ГНСС. Сальцберг А.В., Шупен К.Г., Нечаева О.Е. Труды Института прикладной астрономии РАН № 68. 2024, с. 26-35. Рус.

Точность навигационно-временного обеспечения потребителя в значительной степени определяется свойствами квантового стандарта частоты, функционирующего на борту космического аппарата ГНСС. Анализ характеристик бортовых квантовых стандартов частоты при их наземной экспериментальной обработке и летной эксплуатации необходим для оперативного учета изменений этих характеристик вследствие старения или воздействия внешних факторов, поскольку позволяет повысить точность синхронизации времени в ГНСС. Целью данной работы является анализ характеристик бортовых стандартов частоты разных типов в составе ГНСС и оценка потенциальной точности прогнозирования бортовых шкал времени космических аппаратов различных ГНСС на основе реальных данных. Основу используемого методического подхода к оценке точностных характеристик составляет анализ стохастического поведения квантового стандарта частоты с использованием девиаций Аллана, Адамара или их модифицированных разновидностей и временной девиации. В статье представлены оценки точностных характеристик бортовых квантовых стандартов частоты за 2022 год на основе высокоточных апостериорных данных. Выполнено их сравнение с результатами, полученными за 2020 год. Приведена интерпретация результатов с точки зрения анализа состава шумов, присущих различным типам квантовых стандартов частоты. Получены минимальные значения достижимой точности прогнозирования частотно-временных поправок к бортовым шкалам времени космических аппаратов. Показано, что сравнительный анализ точностных характеристик квантовых стандартов частоты, применяемых в современных ГНСС, позволяет наилучшим образом отслеживать и учитывать особенности поведения каждого бортового стандарта частоты при эксплуатации.

25.01-01.423 Совершенствование теории высот в геодезии. Рахмонов С.С., Попадьев В.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 68. 2024, с. 36-42. Рус.

Пока еще не решенной проблемой в геодезии остается создание международной системы высот, которая по сути является системой разностей потенциалов, преобразование которых в линейную меру выполняется по правилам принятой системы высот: ортометрической, нормальной или нормально-ортометрической. Поскольку на практике в разных нивелирных сетях традиционно применяются разные системы высот (ортометрические — в большинстве стран Запада, нормальные — в странах СНГ), то при реализации общей системы высот появляется необходимость в выборе наиболее подходящей теории. Для обоснованного выбора нужно естественным образом разработать систему критериев, выполнить контрольные вычисления, сравнить их результаты, и в итоге определить наиболее подходящую систему не только практически, но и теоретически. Такие исследования можно провести, прибегнув к математическому моделированию с применением компьютерных программ, например, MATLAB. Важным здесь является создание адекватной численной модели, близкой к физической, на примере которой будет выполнена проверка. При таких исследованиях особую роль играет отделение исходных определений от рабочих формул, а также четкое разделение элементов реального и нормального полей. Полученные на основе такого моделирования результаты позволили показать, что нормальные высоты имеют намного больше преимуществ по отношению к ортометрическим, самое главное из которых известно давно — это строгость вычисления нормальной высоты, в отличие от ортометрической. Тем не менее, и сама нормальная высота может рассматриваться как отрезок в трех вариантах: нормаль к эллипсоиду, координатная линия сферoidalной системы координат и силовая линия нормального поля силы тяжести. Получен способ высокоточного вычисления нормальной высоты как длины координатной линии в сферoidalной системе координат. Установленные преимущества нормальных высот позволяют применять ее в качестве рабочей системы высот в международной системе.

25.01-01.424 Автономная астронавигационная система "Навигатор". Лукашова М.В., Свешиков М.Л.,

Парийская Е.Ю., Желдак Д.А., Космодамианский Г.А., Скрипниченко В.И. *Труды Института прикладной астрономии РАН № 68.* 2024, с. 43-52. Рус.

Представлена разработанная в ИПА РАН программная система «Навигатор». Система «Навигатор» позволяет в автономном режиме решать 12 типовых задач морской астронавигации, связанных с определением места судна и поправки компаса. В список задач входят также и разностные методы обработки наблюдений. Задачи решаются на основе наблюдений высот и азимутов Солнца, Луны, пяти планет и навигационных звезд. Для выбранной задачи по умолчанию предлагается оптимальная подборка светил для наблюдений, дающих наилучший результат. Вычисления проводятся по отечественным фундаментальным эфемеридам Солнца, Луны и планет ЕРМ2021. В основе эфемеридных вычислений лежат рекомендации XXIII и XXIV Генеральных ассамблей Международного астрономического союза. Звездный каталог составлен из звезд списка «Морского астрономического ежегодника» и дополнительных звезд до 6^m из списка «Астрономического ежегодника», а также звезд из Йельского каталога и каталога Hipparcos. Система «Навигатор» также может использоваться для оценки астронавигационной обстановки с помощью окна «Планетарий» с изображением видимой планиферы, а также вычисления условий освещенности и эфемеридных данных светил на заданный момент времени в заданном месте. Кроме специальных окон, краткую информацию о светилах можно получить прямо в окне «Планетарий». Наличие справочного окна в виде интерактивного объяснения к «Морскому астрономическому ежегоднику», позволяющему вычислять эфемериды по примерам, делает систему электронной версией «Морского астрономического ежегодника». Взаимодействие с оператором обеспечивается посредством интерактивного графического интерфейса. Входные данные можно ввести не только из окна, но и из файла. Результаты решения выводятся на экран, а также представляются в графической (для отдельных задач) и текстовой форме, в виде протокола и архива астроопределений, которые можно открыть для просмотра на вкладке «Оконный менеджер» Удобные пользователю шкалы времени и систему географических координат можно выбрать в окне «Настройки». В этом же окне вводится поправка к всемирному времени.

25.01-01.425 Новая версия системы "Штурман". Аксис Д.А., Космодамианский Г.А., Лукашова М.В., Павлов Д.А., Скрипниченко В.И. *Труды Института прикладной астрономии РАН № 69.* 2024, с. 3-7. Рус.

Публикация посвящена новой версии интерактивной системы удаленного доступа для морской астронавигации «Штурман». В статье описаны функциональные возможности системы, некоторые особенности её реализации, а также представлены примеры результатов, которые можно получить при работе с данной системой. Она также позволяет решать задачи, включенные в издаваемый ИПА РАН Морской Астрономический Альманах. Первая версия системы «Штурман» была опубликована на сайте ИПА РАН в 2009 г. Необходимость создания новой версии обусловлена двумя следующими обстоятельствами: — во-первых, процесс внесения изменений в прежнюю версию в ходе её использования был крайне затруднительным; — во-вторых, появилась возможность создания кроссплатформенной версии системы «Штурман» при использовании инструментария открытого доступа, включающего гибкие средства web-программирования. Как и в прежней версии, в качестве базового вычислительного средства в ИПА РАН используется предметно-ориентированная система ЭРА, являющаяся на протяжении нескольких десятилетий инструментальным средством в области фундаментальной эфемеридной астрономии. Основные вычислительные программы написаны на входном языке этой системы. Используются также инструментальные возможности кроссплатформенной среды Racket, в частности средства web-программирования. Для оформления выдаваемых текстовых результатов применяется язык разметки Markdown. Соответствующие элементы разметки вставлены непосредственно в тексты вычислительных программ системы «Штурман». Программа отображения графических результатов написана на языке Си с использованием библиотеки векторной графики. В качестве базового фундамента для необ-

ходимых эфемеридных вычислений в системе «Штурман» использована разработанная в ИПА РАН высокоточная численная теория движения тел Солнечной системы ЕРМ. Система «Штурман» размещена на сайте ИПА РАН и используется в основном в учебной практике мореходных учебных заведений. По мере поступления отзывов пользователей проводится корректировка системы и расширение её функциональных возможностей.

25.01-01.426 Параметры эфемериды Луны ЕРМ2022а. Лебедева М.А., Ягудина Э.И. *Труды Института прикладной астрономии РАН № 69.* 2024, с. 8-17. Рус.

С 1969 г. лазерная локация Луны (ЛЛЛ) используется для построения и улучшения эфемериды Луны. В данной работе рассматриваются результаты обработки новых лазерных наблюдений для получения уточненных параметров эфемериды Луны ЕРМ2022а, которая создана и поддерживается в ИПА РАН. В 2014 г. получила развитие новая версия эфемерид ЕРМ (в том числе Луны) в рамках модернизированной системы ERA-8. В новой версии эфемериды Луны реализована модель орбитально-вращательного движения Луны, близкая к используемой в DE430 (NASA JPL). В ней Луна рассматривается как эластичное тело с вращающимся жидким ядром, а поворот Луны вокруг центра масс в небесной системе координат задается тремя углами Эйлера. Вместе с необходимыми на сегодняшний день новыми геофизическими и геодинамическими параметрами эта модель заменила модель, предложенную Красинским Г.А. в ERA-7. В данной работе для получения параметров эфемериды Луны ЕРМ2022а использовано 31589 нормальных точек (н. т.) ЛЛЛ-наблюдений. Из них 1075 — новые наблюдения ЛЛЛ. Около 100 параметров эфемериды Луны ЕРМ2022а были улучшены, и некоторые из них сравнены с теми же параметрами эфемерид INPOP21a и DE440. Кроме того, по просьбе коллег из Лаборатории Астрономического ежегодника, было произведено сравнение эфемерид ЕРМ2021 и ЕРМ2011. Результаты сравнения показывают, что разница в расстоянии до Луны от 0.2 м до 0.4 м — при сравнении этих расстояний эфемериды DE440 с эфемеридой ЕРМ2021, и около 1 м — при сравнении этого параметра эфемериды DE440 с ЕРМ2011, что свидетельствует о незначительности расхождений эфемерид и возможности использования эфемериды Луны ЕРМ2011 (в пределах точности проектов Астрономического ежегодника) на достаточно длительных интервалах времени. Но при использовании эфемериды Луны в современных проектах и практических работах для космических исследований необходимо пользоваться последними эфемеридами Луны ЕРМ2021 и ЕРМ2022а.

25.01-01.427 Исследование ретроспективной эволюции наиболее долгоживущих околосолнечных комет. Медведев Ю.Д., Павлов С.Р., Тостой А.Л. *Труды Института прикладной астрономии РАН № 69.* 2024, с. 18-25. Рус.

Исследованы динамические особенности орбит шести околосолнечных комет с наибольшей наблюдательной историей из семейств Марсдена и Крахта: 321P, 322P, 323P, 342P, P/1999 J6, P/2008 N4. По позиционным наблюдениям, взятым с веб-сайта (MPC, 2023), уточнены их координаты, скорости и трансверсальные составляющие негравитационных ускорений A_2 по модели Марсдена. Для большинства комет величина A_2 не превышала $0.02 \cdot 10^{-8}$ а.е./сут². Исключение составила комета P/1999 J6, что может быть следствием ее фрагментации при прохождении перигелия в 1999 г. Величина СКО представления позиционных наблюдений, полученных космическим аппаратом SOHO, в большинстве случаев оказалась близка 20 угл. сек. дуги. Целью данной работы является определение возможных моментов разделения исследуемых комет в предположении, что в прошлом кометы являлись частями единого материнского тела. Орбиты комет были проинтегрированы на 4000 лет назад, и на основании результатов численного интегрирования для всех пар орбит комет были рассчитаны значения критериев близости орбит. Вычислялись три критерия близости орбит: критерий Суатворта и Хокинза, критерий Драммонда, и критерий Холшевникова. В результате проведенного анализа выдвинуто предположение о возможной фрагментации пары комет 342P и P/1999 J6 в 1200 г. Обе кометы имели тесное сближение с Юпи-

тером в этот момент и могли распасться на одном из предшествующих появлений. У пары орбит комет 321P и 322P был выявлен локальный минимум всех трех критериев в 1900 г., что позволяет предположить возможность отделения данных комет друг от друга в этот момент. Продоланные вычисления подтверждают гипотезу о том, что большинство рассматриваемых в работе околосолнечных комет образовалось в результате разрушения протокометы.

25.01-01.428 О точности определения скоростей движения геодезических пунктов. *Мельник Г.Э., Ощепков И.А. Труды Института прикладной астрономии РАН № 69. 2024, с. 26-38. Рус.*

Целью настоящего исследования является изучение точности определения скоростей перемещения геодезических пунктов на земной поверхности с учетом тектонических процессов. Этот аспект особенно важен, поскольку постоянные смещения, вызванные тектонической активностью, могут быть определены либо с помощью повторных геодезических наблюдений, либо через моделирование движения тектонических плит. Отмечается, что каждый из этих подходов имеет свои преимущества и недостатки, но основное внимание уделяется оценке точности определения скоростей, поскольку параметры движения пунктов являются важным элементом в современных системах координат. Методологическую основу исследования составляют данные, полученные с постоянно действующих пунктов ГНСС. Эти данные предоставляют обширную картину движения геодезических пунктов и являются незаменимыми при изучении тектонической активности. Исследование включает в себя анализ и сравнение скоростей, полученных из временных рядов геоцентрических координат, со скоростями, полученными из моделей движения тектонических плит. В результате данного исследования выявлено, что, хотя в целом модели движения тектонических плит дают сходные результаты, каждая из них обладает своими особенностями. Было замечено, что наибольшие погрешности связаны с зонами соприкосновения плит, где происходят значительные деформации земной поверхности. Эти выводы существенно влияют на понимание процессов, происходящих в земной коре, и на подходы к созданию и усовершенствованию систем координат.

25.01-01.429 Текущее состояние работ ГМЦ ГСВЧ в части определения ПВЗ. *Пасынок С.Л., Антропов С.Ю., Безменов И.В., Востругов Н.А., Дроздов А.Э., Жаров В.Е., Игнатенко И.Ю., Цыба Е.Н., Федотов В.Н. Труды Института прикладной астрономии РАН № 69. 2024, с. 39-46. Рус.*

В Главном метрологическом центре Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ) непрерывно проводятся работы в области определения и прогнозирования параметров вращения Земли (ПВЗ). Прежде всего это работы по осуществлению мероприятий в рамках ГСВЧ, которые включают: проведение навигационных и спутниковых лазерных дальномерных измерений на пунктах метрологического контроля Росстандарта, расположенных в городском поселении Менделеево и городах Новосибирск, Иркутск, Хабаровск и Петропавловск-Камчатский; обработку результатов ГНСС, спутниковой лазерной дальнометрии (СЛД) и РСДБ-измерений ГСВЧ и международных служб; определение ПВЗ в рамках отдельных методов измерений; совместную обработку данных измерений и результатов определения ПВЗ в рамках отдельных методов измерений; а также формирование справочной информации о ПВЗ и ее распространение. Роль ФГУП «ВНИИФТРИ» как ГМЦ ГСВЧ закреплена Постановлением Правительства РФ № 225. Также в ГМЦ ГСВЧ ведутся работы по эксплуатации следующих средств: аппаратно-программных средств определения и прогнозирования ПВЗ на основе совместной обработки файлов измерений в формате SINEX, Коррелятора ГМЦ ГСВЧ, спутниковой дальномерной лазерной станции комплекса средств фундаментального обеспечения ГЛОНАСС «Точка» и сегмента обмена данными Росстандарта; проводятся исследования по вычислению орбит и поправок часов КА, а также обработке данных спутниковых альтиметрических измерений. В статье приводится краткий обзор работ, проводимых в ГМЦ ГСВЧ в части определения и прогнозирования ПВЗ в период с 2021 по 2023 гг. Оцен-

ка качества определений ПВЗ и других параметров проводится методом сравнения данных, полученных в ГМЦ ГСВЧ, с международными опорными данными о ПВЗ и данными других отечественных и зарубежных центров обработки и анализа данных (ЦОАД). Результаты сравнения свидетельствуют о высоком научно-техническом уровне работ, проводимых в ГМЦ ГСВЧ в части определения и прогнозирования ПВЗ.

25.01-01.430 Прогнозирование ухода шкал времени бортовых часов с помощью трехкомпонентной модели. *Тиссен В.М., Балахненко А.Ю., Рачков В.Д. Труды Института прикладной астрономии РАН № 69. 2024, с. 47-56. Рус.*

В настоящее время построение прогнозных значений бортовых шкал времени относительно шкалы центрального синхронизатора осуществляется на основе математических моделей в виде простейших полиномов первой и второй степени. При этом в случае оперативного режима расчета орбит КА ГЛОНАСС принимаются линейные модели, параметры которых переопределяются с 6-часовой периодичностью закладки эфемеридной информации в бортовой компьютер. При срочном и апостериорном режимах требуются прогнозы ухода шкал от суток до двух недель. В этом случае для поддержания точности эфемеридно-временной информации возникает необходимость в более сложной модели прогноза, включающей квадратичный член и другие регулярные компоненты. При разработке таких моделей возникают затруднения с оценкой величин систематической и случайной составляющих расхождения данных шкал. В настоящей статье предложена аналитическая трехкомпонентная модель прогнозирования ухода бортовой шкалы. Первые две из них задают линейную и квадратичную часть ухода. Третья компонента учитывает все закономерности периодического и квазипериодического характера. Она представлена полигармоническим рядом, насчитывающим от 15 до 20 гармоник. Параметры модели оцениваются с помощью метода наименьших квадратов индивидуально для каждого навигационного спутника по данным частотно-временных поправок на интервалах 1—5 месяцев предшествующей истории. Для оценки величины случайной составляющей нестабильностей бортовых часов предложено использовать программный генератор случайных чисел, с помощью которого задается желаемая ширина шумовой дорожки. В результате проведения численных экспериментов по отработке предложенной трехкомпонентной модели расхождения бортовой шкалы навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS относительно шкалы центрального синхронизатора показано, что погрешности прогноза ухода бортовой шкалы ГНСС в большинстве случаев соизмеримы с погрешностями аппроксимации по данным, на которых оцениваются параметры модели. В частности при отработке модели расхождения бортовой шкалы навигационных спутников ГЛОНАСС (R02) осредненная СКП прогноза на интервале 30 суток составила порядка 1 нс, а для суточных прогнозов порядка 0.5 нс при 100% выборке результатов.

25.01-01.431 Исследование вариаций в перемещениях северного полюса для повышения точности прогнозов изменений его координат. *Тиссен В.М., Толстиков А.С., Шувалов Г.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 70. 2024, с. 3-12. Рус.*

Представлены исследования, касающиеся особенностей перемещения географического северного полюса. Были выявлены главные составляющие этого перемещения, которые условно разделены на три группы. В первую группу включены долгопериодические гармонические компоненты, аппроксимирующие трендовые вариации движения северного полюса. Вторая группа представлена некоторым ограниченным числом незначительных по мощности гармоник с периодами от двух до десяти лет, суперпозицию которых предложено использовать для моделирования квазипериодических вариаций. Третья группа включает наиболее значимые по мощности компоненты, с помощью которых получены модели главных вариаций: свободного чандлеровского и годового периодов. Кроме этого, в графическом виде показана остаточная высокочастотная составляющая движения полюса, имеющая характер белого шума. Особое внимание уделено регулярным вариациям, которые представлены чандлеровским периодом с нестабильными параметрами

рами и годовой волной, природа которой имеет вынужденный характер, и поэтому годовой период носит более стабильный характер в сравнении с другими вариациями. Для аппроксимации перечисленных вариаций предложены гармонические модели, состоящие из групп гармоник подобранных по рассмотренным в статье признакам и критериям. При этом оценка параметров гармонических компонент данных вариаций производилась на различных по продолжительности временных интервалах. Приведен необходимый графический материал, поясняющий характер перечисленных вариаций и суть разработанного авторами метода прогнозирования координат полюса за последние 23 года. Характер вариаций показан в графическом виде на интервале последних 23 лет. К числу интересных результатов выполненных по теме статьи исследований следует отнести полученную модель изменения амплитуды чандлеровского периода за анализируемый период. Так, например, за период с 2006 по 2017 гг. наблюдается постепенное уменьшение амплитуды чандлеровского периода вплоть до нулевого значения, а с 2020 г. по настоящее время происходит аналогичное ее увеличение. Оценка параметров моделей перечисленных вариаций выполнена методами сингулярного спектрального анализа и наименьших квадратов на интервале известных значений координат полюса от 15 до 50 лет в зависимости от типа исследуемой вариации. Практическая реализация предлагаемого метода выразилась в создании программ прогнозирования координат полюса на любые задаваемые сроки. Точность вычисляемых прогнозов с помощью данных программ по оценкам независимых экспертов превышает точность аналогичных прогнозов, выставляемых на сайте Международной службы вращения Земли.

25.01-01.432 Методы геодезического контроля зеркальных систем радиотелескопов РТ-32, РТ-13. Шаповалов А.О. Труды Института прикладной астрономии РАН № 70. 2024, с. 13-18. Рус.

Зеркальные системы радиотелескопов РТ-32 и РТ-13 состоят из двух основных элементов: главного зеркала (рефлектора) и вторичного (контррефлектора). От качества их исполнения не в последнюю очередь зависит точность получаемых данных в результате РСДБ-наблюдений. В связи с этим возникает необходимость в проведении работ по оценке геометрических показателей поверхности зеркальных систем радиотелескопов, входящих в состав радиоастрономических обсерваторий комплекса «Квазар-КВО». В процессе проведения данных мероприятий применялись различные методы геодезического контроля. В рамках работ по модернизации отражающей поверхности контррефлектора РТ-32 применялись контактный метод и метод поэтапного сканирования поверхности. Далее для оценки точности отражающей поверхности контррефлектора РТ-32 применялся фотограмметрический метод исследования, который впоследствии использовался в измерениях зеркальной системы РТ-13. В результате наиболее подходящим методом геодезического контроля зеркальных систем радиотелескопов РТ-32, РТ-13 стал фотограмметрический метод исследования. Данное обстоятельство в большей степени связано с высокой точностью получаемого результата в условиях работы на открытом воздухе. Однако стоит отметить, что в случае повышения точности безотражательных лазерных систем метод поэтапного сканирования станет наиболее приемлемым для выполнения данных видов работ. По итогу контрольных измерений было выяснено, что СКО геометрии отражающей поверхности контррефлектора РТ-32 обсерваторий «Светлое», «Зеленчукская», «Бадары» составляет: 0.34, 0.38 и 0.31 мм соответственно, СКО геометрии отражающей поверхности РТ-13 обсерватории «Светлое» следующая: рефлектор — 0.19 мм, контррефлектор — 0.18 мм.

25.01-01.433 Особенности формирования достоверной шкалы времени в сетях связи. Медведев С.Ю., Мишагин К.Г., Рыжков А.В., Сахаров Б.А., Шварц М.Л. Труды Института прикладной астрономии РАН № 70. 2024, с. 19-24. Рус.

Для обеспечения функционирования современных сетей связи реализуются специальные системы частотной (тактовой) и временной (фазовой) синхронизации, которые, как правило, основаны на использовании приёмников ГНСС. Однако такие си-

стемы нельзя считать надёжным из-за различных помех, воздействующих на приёмники ГНСС и приводящих к полной потере синхронизации. Требуются альтернативные решения для систем частотно-временного обеспечения. Одно из таких решений предлагается в данной работе. В работе анализируются доступные технологии и требования для частотно-временного обеспечения современных систем связи. С помощью численного моделирования и качественных оценок исследуется ожидаемое время автономного хранения шкалы атомных часов для заданной точности. В результате проведенного анализа сделан вывод о том, что перспективным решением проблемы обеспечения надёжности системы частотно-временной синхронизации является применение ведущих сетевых часов на основе прецизионных хранителей времени — квантовых стандартов частоты, корректируемых относительно UTC с достаточно большим периодом при контроле качества принимаемого сигнала. Использование пассивных водородных стандартов частоты позволит осуществлять коррекции приблизительно раз в две недели либо реже при требовании допустимого отклонения шкалы времени от UTC не более 100 нс. Для повышения надёжности системы предлагается использовать два стандарта частоты и дополнительное устройство обнаружения помех типа spoofing. Рассмотренная структура системы формирования и коррекции шкалы времени ведущих сетевых часов на основе технологий APNT может лечь в основу будущих когерентных систем частотно-временного обеспечения, которые позволят повысить надёжность формирования единых шкал времени и эталонной частоты для сети связи общего пользования.

25.01-01.434 Определение параболической орбиты в компланарном (близкомпланарном) случае. Кузнецов В.Б. Труды Института прикладной астрономии РАН № 70. 2024, с. 25-33. Рус.

Предложен алгоритм поиска решения для определения параболической орбиты в компланарном случае: когда плоскость искомой орбиты совпадает с плоскостью движения наблюдателя. Ситуация, когда все действие происходит в одной плоскости (компланарность), затрудняет определение орбиты. Так, в уравнении, связывающем между собой три топоцентрических расстояния, появляются особенности, не позволяющие выразить одно из них через два других. На практике этому случаю соответствуют близпараболические орбиты комет, имеющие очень малый наклон к плоскости эклиптики. В отличие от случая произвольного эксцентриситета, для определения параболической орбиты всегда достаточно трёх наблюдений. Определение параболической орбиты сводится к решению системы алгебраических уравнений для двух безразмерных переменных. Алгоритм поиска решения компланарного случая является модификацией некомпланарного, описанного ранее. Он основывается на поиске минимумов целевой функции методом Нелдера—Мида по симплексу. Основные изменения связаны с переходом к другим переменным. Так, компоненты единичного вектора нормали к плоскости искомой орбиты были заменены на нормированные безразмерные топоцентрические расстояния. Это позволило избежать потери точности из-за малости значений координат N_{xs}, N_{ys} и при этом сохранить замкнутость и безразмерность области поиска. Другая важная замена связана с отказом от уравнения, связывающего три топоцентрических расстояния в пользу уравнения, не имеющего особенности в компланарном случае. В качестве примера приведены результаты определения орбиты кометы C/1984 U1 Shoemaker с наклоном орбиты к плоскости эклиптики 179.21° . Показано, что использование обычной программы, предназначенной для некомпланарного случая, не позволяет найти искомую орбиту. Замена переменных, являющихся компонентами вектора нормали к орбите, на безразмерные топоцентрические расстояния позволяет получить решение, которое плохо представляет среднее наблюдение. И, наконец, отказ от использования условия компланарности радиус-векторов орбиты для связи между собой топоцентрических расстояний в пользу алгебраического выражения, не зависящего от наклона орбиты к плоскости эклиптики, позволяет определить орбиту с достаточной точностью.

25.01-01.435 Оценка производительности современных дисковых накопителей с целью их использования для буферизации и передачи РСДБ-данных. Безру-

ков И.А., Сальников А.И., Васильев В.В., Вылезжа-нин А.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 70. 2024, с. 34-38. Рус.

В настоящее время в ИПА РАН в трех обсерваториях («Светлое» в Ленобласти, «Зеленчукская» в КЧР, «Бадары» в Бурятии) эксплуатируется 12 систем буферизации и передачи данных, которые включают порядка 250 накопителей на твердых магнитных дисках форм-фактора 3.5". Основная задача систем буферизации и передачи данных заключается в высокоскоростной регистрации данных наблюдений, временном хранении большого объема данных и оперативной передаче этих данных в центр корреляционной обработки ИПА РАН, а также в международные центры обработки. Существенное увеличение объема данных наблюдений предъявляет высокие требования к надежности и производительности дисковых накопителей систем буферизации и передачи данных. Оценка последней была представлена в статье «Исследование производительности дисковой подсистемы системы буферизации и передачи данных», опубликованной в 2018 г. В соответствии с рекомендациями по результатам проведенных исследований, во всех системах буферизации и передачи данных была проведена установка накопителей SAS и NearLine SAS (NL-SAS) HDD дисков объемом 6 ТБ. Для обеспечения наблюдений с возросшим объемом данных планируется использовать современные дисковые накопители объемом более 6 ТБ на жестких магнитных дисках HDD и твердотельные дисковые накопители SSD. Следует отметить, что объем и надежность дисковых накопителей обоих типов различных производителей в настоящее время существенно выросли. Как отмечается в спецификации производителей, по параметру UER (Unrecoverable Error Rate) SSD-накопители даже надежнее HDD-дисков и проигрывают им только по объему и стоимости. Однако в IT-индустрии последняя грань постепенно стирается. В связи с новыми предложениями производителей дисковых накопителей объемом более 6 ТБ и появлением более совершенного серверного оборудования, а также новых версий операционных и файловых систем, потребовалось провести оценку возможности использования современных дисковых накопителей в системах буферизации и передачи данных. В статье представлены результаты тестирования новых версий дисковых накопителей для системы буферизации и передачи данных, которые обеспечивают как высокую скорость чтения/записи, так и достаточной большой дисковый объем.

25.01-01.436 Модернизация системы преобразования сигналов радиотелескопа РТ-32 обсерватории "Светлое". Маршалов Д.А., Бердников А.С., Гренков С.А., Федотов Л.В., Шейнман Ю.С., Михайлов А.Г., Устинов А.В., Рахимов И.А., Исаенко А.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 70. 2024, с. 39-49. Рус.

С 2011 г. по настоящее время на 32-метровых радиотелескопах (РТ-32) радиоинтерферометрического комплекса «Квазар-КВО» эксплуатируются отечественные системы преобразования сигналов P1002M. За счет применения цифровой обработки сигналов на видеочастотах (до 32 МГц) система позволила заметно сократить инструментальные потери, возникающие при преобразовании сигналов. Развитие элементной базы и методов обработки сигналов привели к созданию более совершенной многофункциональной системы преобразования сигналов (МСПС), выполняющей обработку сигналов в диапазоне промежуточных частот в цифровом виде. МСПС построена по модульному принципу, имеет широкие возможности по переконфигурированию режимов работы за счет используемых в своем составе программируемых логических интегральных схем, а конструктивное исполнение системы обеспечивает ее размещение на подвижной части антенны. С 2020 г. опытный образец МСПС штатно эксплуатируется на 13-метровом радиотелескопе обсерватории «Светлое» комплекса «Квазар-КВО». В текущем году начаты работы по модернизации системы преобразования сигналов радиотелескопа РТ-32 обсерватории «Светлое» путем перехода от P1002M к МСПС. Для размещения на антенне РТ-32 потребовалась незначительная модификация аппаратных и расширение программных средств МСПС, а также сопряжение с другими системами и комплексами радиотелескопа. В работе представлены сделанные в системе изменения и те-

кущие результаты работы по модернизации аппаратуры преобразования сигналов на радиотелескопе РТ-32, а также результаты тестовых наблюдений на РТ-32 с использованием МСПС.

25.01-01.437 Анализ свободной нутации ядра Земли на основе обработки РСДБ-наблюдений. Урунова Р.М., Курдубов С.Л. Труды Института прикладной астрономии РАН № 70. 2024, с. 50-55. Рус.

Целью данной работы является изучение временного ряда поправок к координатам небесного полюса Земли за период 1979—2022 гг., полученных по РСДБ-наблюдениям. Считается, что такой ряд может быть описан эмпирической моделью свободной нутации ядра Земли. Действующие модели свободной нутации ядра Земли основываются на одной частоте, которая соответствует периоду около 430 дней, с переменной фазой и амплитудой. Недостатком данных моделей является то, что ошибка прогноза резко возрастает при вычислении значений поправок за пределами интервала наблюдений, на котором эти модели и были построены. Поэтому было принято решение построить собственную эмпирическую модель, которая позволяла бы предсказывать значения для любого момента времени независимо от интервала, на котором будут определены ее параметры. Исходными данными для этой модели является ряд поправок к координатам небесного полюса, полученный после вторичной обработки РСДБ-наблюдений программным пакетом QUASAR. В процессе исследования был использован спектральный анализ для выделения частотных характеристик изменений координат небесного полюса. Так как полученный временной ряд поправок является неравномерным, то для его анализа была построена периодограмма Ломба—Скаргла. Спектр полученного ряда сравнивался со спектром равномерного временного ряда f_{final} , предоставляемого Международной службой вращения Земли и систем отсчета. Чтобы сравнение спектров равномерного и неравномерного рядов было корректным, была построена периодограмма Ломба—Скаргла также и для равномерного временного ряда, так как она применима в обоих случаях. Полученные спектры мы рассматривали как спектр биения, возникшего при наложении двух гармоник. Частоты этих гармоник были определены из периодограммы. Чтобы определить соответствующие им амплитуды, был применен линейный метод наименьших квадратов, а для уточнения этих значений был применен нелинейный метод наименьших квадратов. В результате мы получили эмпирическую модель свободной нутации ядра Земли, которая включает в себя набор коэффициентов, вычисленных на основе обработанных данных. Полученные гармоники соответствуют периодам — 422 и — 441 день. Полученная модель может быть использована для коррекции предсказанных рядов поправок к координатам небесного полюса.

25.01-01.438 Компенсация систематической составляющей погрешности автоматизированного астрономического универсала, обусловленной сбоями синхронизации данных. Кузьмина Н.В., Тарасов С.М., Цодокова В.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 71. 2024, с. 3-8. Рус.

Статья посвящена алгоритмической компенсации систематических составляющих погрешностей определения астрономических долгот и азимутов автоматизированным астрономическим универсалом. Рассматриваемое устройство представляет собой оптико-электронный прибор, основными составными частями которого являются: объектив, телевизионная камера, приемник сигналов спутниковых навигационных систем, приводы вертикального и горизонтального наведения, система горизонтирования, блок обработки и управления. Посредством приемника сигналов спутниковых навигационных систем производится определение значений всемирного координированного времени UTC, а также формирование сигналов синхронизации. По сигналам синхронизации телевизионной камерой осуществляется регистрация кадров с изображениями звезд, при этом с каждым сигналом передается значение времени UTC. В результате сбоев в работе аппаратуры (телевизионной, спутниковой) или нарушения логики работы программного обеспечения может возникнуть ошибочная временная привязка зарегистрированного кадра, которая, в первую очередь, повлияет на точность вычисления Гринвичского звездного времени и в итоге приведет к появлению систематических составляющих погрешно-

стей определения астрономических долгот и азимутов, не позволяющих обеспечить требуемые точностные характеристики автоматизированного астрономического универсала. В работе аналитически оценивается влияние погрешностей синхронизации данных на точность определения астрономических долгот и азимутов и предлагается алгоритм обнаружения и компенсации указанных погрешностей. Погрешность определения азимута выявляется по разности результатов астрономических наблюдений, произведенных вблизи плоскости меридиана при двух диаметрально противоположных направлениях визирной оси прибора (к северу и к югу от зенита), а долготы — по разности значений отклонения отвесной линии в плоскости первого вертикала, одно из которых получено в результате астрономических наблюдений в околосчитной области, а второе снято со специальных карт или рассчитано, например, гравиметрическим методом. Кроме того, в работе формулируются требования, выполнение которых необходимо для успешной реализации предложенной алгоритмической компенсации, а также определяется диапазон широт, в котором эти требования могут быть выполнены.

25.01-01.439 Универсальная цифровая система обработки сигналов для радиотелескопов. *Маршалов Д.А., Гренков С.А., Кольцов Н.Е., Федотов Л.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 71. 2024, с. 9-17. Рус.*

Для радиоастрономических наблюдений в России используются радиотелескопы с антеннами разного диаметра, в том числе 32- и 13.2-метровые радиотелескопы РТ-32 и РТ-13 комплекса «Квazar-КВО». Эти радиотелескопы оснащены научной аппаратурой, используемой для проведения наблюдений: высокочувствительными радиоастрономическими приемными системами, рассчитанными на разные диапазоны частот и полосы промежуточных частот, системами преобразования, обработки и регистрации сигналов. Для работы в составе радиоинтерферометра со сверхдлинными базами для радиотелескопов РТ-32 разработаны и используются до сих пор узкополосные полудигитальные системы обработки сигналов Р1002М, для РТ-13 применяются широкополосные цифровые системы. Радиометрические и спектральные наблюдения выполняются с использованием специально разработанных цифровых систем регистрации. В ИПА РАН была разработана многофункциональная система преобразования сигналов на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и высокоскоростных аналого-цифровых преобразователей. Это позволило на ее основе создать универсальную цифровую систему обработки сигналов для радиотелескопов. Рабочий диапазон системы в 0–2 ГГц обеспечивает совместимость по диапазонам промежуточных частот, а наличие до 12 широкополосных каналов позволяет независимо обрабатывать сигналы, поступающие с выходов радиоастрономических приемных устройств. Возможность регистрации сигналов в широких полосах 512, 1024 или 2048 МГц повышает чувствительность радиотелескопа, а в случае использования антенн малого диаметра дает возможность сохранять приемлемое для наблюдений отношение сигнал/шум. Режим регистрации 16 независимо перестраиваемых узкополосных (0.5–32 МГц) частотных каналов внутри рабочей полосы частот обеспечивает сопряжение с существующими системами, дает возможность установки специальных настроек и может быть использован при организации наблюдений КА и ИСЗ. Стандартный формат данных и выходной интерфейс 10/40GE дают возможность сопряжения с любыми системами регистрации и буферизации данных. Созданная система способна работать в режимах радиометрической регистрации и спектральных наблюдений. Она подходит для любых радиотелескопов, независимо от размеров антенны и типа радиоприемного оборудования, способна заменить на радиотелескопе всю аппаратуру обработки сигналов и обеспечить их регистрацию данных большинства радиоастрономических наблюдений. Опытные образцы разработанной системы установлены на радиотелескопах РТ-13 и РТ-32 в обсерваториях «Светлое» и «Зеленчукская» и уже участвуют в различных радиоастрономических наблюдениях. В статье подведены итоги создания универсальной цифровой системы для радиотелескопов. Приведены параметры и варианты исполнения системы. Рассмотрены алгоритмы и конфигурация программируемых логических интегральных схем

для всех режимов работы системы. Представлены некоторые результаты ее использования на радиотелескопах.

25.01-01.440 Определение координат и времени пункта по локальным радиосигналам. *Смирнов С.С., Петров С.Д., Трофимов Д.А., Чекунов И.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 71. 2024, с. 18-25. Рус.*

Работа посвящена альтернативным по отношению к глобальным навигационным спутниковым системам (ГНСС) способам определения координат и времени локального пункта. В настоящее время ГНСС являются практически безальтернативным средством определения координат и времени на транспорте и в беспилотной технике. В то же время ГНСС уязвимы к средствам радиоэлектронной борьбы (РЭБ), которые могут применяться как злоумышленниками или противниками, так и органами обеспечения правопорядка. На основе обзора существующих подходов к решению подобных проблем предложена локальная радионавигационная система, базирующаяся на компактных транспортируемых радиомаяках, которая может быть альтернативой ГНСС. Описаны преимущества подобной локальной радионавигационной системы над другими альтернативными средствами навигации. Основные преимущества заключаются в возможности быстрого развертывания и сворачивания данной системы, за счет массогабаритных характеристик маяков, обеспечивающих их ручную переноску, а также в возможности обеспечения в перспективе селективного доступа за счет быстрой смены несущей частоты по заранее оговоренному правилу. Также подобная быстрая смена частот повышает устойчивость системы к средствам РЭБ, предназначенным как для глушения сигнала, так и для его подмены. Рассмотрены общие принципы построения локальной радионавигационной системы, существующие аналоги. Основная идея заключается в использовании дальномерного псевдослучайного кода, аналогичного кодам, используемым в ГНСС. Данный подход упрощает работу, позволяя использовать уже отработанные алгоритмы. Описана реализация макета локальной радионавигационной системы на основе имеющихся на рынке доступных технических решений. Был выполнен эксперимент по определению координат движущегося объекта, приведены условия выполнения эксперимента и его результаты. На данный момент основная проблема в части аппаратного обеспечения — отсутствие встроенного хранителя времени и частоты, в дальнейшем планируется его включение в состав аппаратуры. Основной проблемой при обработке измерений с целью получения координат являются многочисленные переотражения, вызванные зданиями и деталями рельефа. Возможными решениями данной проблемы может стать использование приемных антенн, аналогичных ГНСС-антеннам с технологией Choke-ring, а также модификация программного обеспечения по обработке сигнала, которая позволит производить фильтрацию переотраженных сигналов.

25.01-01.441 Перспективы применения радиоинтерферометрических средств для высокоточных траекторных измерений в области геодезических и навигационных систем. *Гаврилов Д.А., Саэно И.В., Суркис И.Ф. Труды Института прикладной астрономии РАН № 71. 2024, с. 26-33. Рус.*

Одним из возможных путей повышения точности определения орбит космических аппаратов является использование технологии, основанной на РСДБ, которая позволяет ввести в систему уравнений по определению начальных условий вектора состояния космического аппарата высокоточные угломерные (или разностно-дальномерные) измерения и, в конечном итоге, повысить точность навигационно-баллистического обеспечения. Для оценки точности измерений проведены эксперименты по наблюдению КА ГЛОНАСС радиотелескопами РСДБ-комплекса «Квazar-КВО». Обработка наблюдений выполнена двумя методами: кодовые и фазовые задержки получены средствами Matlab в режиме одиночной антенны и разностных сигналов; групповые и фазовые задержки получены штатным Программным коррелятором РСДБ-комплекса «Квazar-КВО». Приведено сравнение результатов. При обработке средствами Matlab короткого (секундного) интервала наблюдений в режиме одиночной антенны получены точности кодовых задержек 400–500 мм и фазовых 0.2–0.3 мм. Следующий эксперимент

был более длительным, на 300-секундном скане и секундном периоде накопления средствами Matlab получены точности разностных сигналов 75.1 мм кодовой и 0.5 мм фазовой задержки. Этот же эксперимент обработан Программным коррелятором РСДБ-комплекса, получены групповые задержки с точностью 23.8 мм и фазовые задержки с точностью 0.5 мм. Наблюдается хорошая сходимости между задержками, полученными средствами Matlab и Программным коррелятором. Достигнута высокая инструментальная точность задержек, что позволяет сделать вывод о перспективности и целесообразности дальнейших исследований в области РСДБ-технологий в приложении к траекторным измерениям космического аппарата.

25.01-01.442 База геодинимических данных для русской платформы. *Мовсесян П.В., Щербакова Н.В., Горшков В.Л., Петров С.Д., Трофимов Д.А. Труды Института прикладной астрономии РАН № 71. 2024, с. 34-39. Рус.*

Работа посвящена созданию базы геодинимических данных, аккумулирующей данные с ГНСС-станций, входящих в различные сети, как научные, так и коммерческие. База предназначена для исследования геодинимики Русской (Восточно-Европейской) платформы, что ограничивает территориальное расположение станций, входящих в базу. Из-за того что в базе имеются данные о более чем восьмиста станциях, ручная обработка и визуализация всех данных является слишком трудоемкой задачей. База данных, рассматриваемая в работе, создается на основе базы данных, созданной в ГАО РАН, но с применением новых методов хранения, обработки и визуализации данных. Это позволяет значительно упростить процесс визуализации положений станций и их данных, снижая необходимость в трудоемкой ручной обработке. Процесс обработки сырых данных состоит из ГНСС-обработки и последующего анализа ряда получаемых положений станций. Была выполнена автоматизация процессов загрузки данных станций. Автоматизирована обработка ГНСС-наблюдений, хранящихся в базе. За счет более высокой степени автоматизации ожидается упрощение поддержки обработки столь высокого числа станций, что уменьшит задержки между появлением сырых данных и получением их координат и скоростей. Помимо визуализации и обработки данных базы реализована возможность получения текущего состояния таблиц с положениями для самостоятельного анализа в машиночитаемом формате.

25.01-01.443 Разработка отечественного астрофотометрического каталога звезд всего неба в интересах обеспечения оптико-электронных информационных систем. *Олейников М.И., Широбоков В.В., Додонов С.Н., Шуйгина Н.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 71. 2024, с. 40-45. Рус.*

Рассмотрены вопросы, связанные с созданием отечественного астрофотометрического каталога звезд всего неба, который необходим для решения задач астроориентации, астронавигации, а также определения блеска естественных и техногенных объектов, находящихся в околоземном космическом пространстве. Современные каталоги звезд должны содержать максимально полную и точную информацию о фотометрических характеристиках звезд, их координатах, а также об их собственных движениях. Астрометрические каталоги периода до GAIA существенно зависели от точности определения ошибок собственных движений звезд, что приводило к «старению» каталогов и затрудняло их использование в системах астроориентации и астронавигации. Приведен краткий обзор современных каталогов с целью выявления проблем использования существующих астрометрических и фотометрических каталогов звезд. Анализ показал, что основные фотометрические каталоги звезд неоднородны (для разных зон использованы разные телескопы, детекторы и фильтры), страдают от неполноты, требуют сложных пересчетов звездных величин из одной фотометрической системы в другую. Рассмотрены вопросы по созданию и поддержанию отечественного фотометрического и астрометрического каталога звезд всего неба в интересах обеспечения оптико-электронных информационных систем. Определены основные его потребители в части использования данных каталога информационными оптико-электронными системами различного назначения. Определены требования, предъявляемые к таким

каталогам, как в части полноты фотометрических данных, так и в части астрометрических данных. Выявлена необходимость создания централизованной системы поддержания такого каталога и доведения до любых заинтересованных потребителей требуемой координатной и фотометрической информации в части фоновой звездной обстановки, в том числе в ближнем ИК-диапазоне. Сформулированы предложения в направлении работ по созданию сети широкоугольных телескопов, необходимых для поддержки отечественного фотометрического и астрометрического каталога звезд всего неба.

25.01-01.444 Колонка главного редактора. Зелёный Л.М. *Земля и Вселенная. 2024, № 1, с. 3-5. Рус.*

25.01-01.445 Приливные взаимодействия в Солнечной системе. *Гудкова Т.В. Земля и Вселенная. 2024, № 1, с. 6-24. Рус.*

Наша Солнечная система представляет собой семейство планет и спутников, сформированных из горных пород, льда, газа, а также их смеси. Для изучения недр Земли был разработан большой арсенал геофизических методов, но возможности для исследования строения других тел Солнечной системы остаются ограниченными. Широкий набор сейсмических данных доступен только для Земли, хотя сейсмические эксперименты были проведены на Луне и Марсе. Такие эксперименты очень дорогостоящие, и поэтому многие исследования планет опираются на дистанционное зондирование и геодезические измерения.

25.01-01.446 Исследование планет-гигантов межпланетными космическими аппаратами. *Петрухин А.А. Земля и Вселенная. 2024, № 1, с. 25-35. Рус.*

Наша Солнечная система включает восемь планет, множество комет, астероидов, метеороидов и межпланетную среду. За четырьмя планетами земной группы в порядке удаления от Солнца следуют четыре планеты-гиганта: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. В этой статье будет рассказано об исследовании планет-гигантов, их колец и спутников с помощью межпланетных космических аппаратов. Эти грандиозные исследования начались в 70-х годах прошлого века и продолжаются до сих пор. Планируются новые космические миссии, ставятся новые задачи по исследованию внешней Солнечной системы.

25.01-01.447 Марс подает признаки жизни. *Говорова А.Ф. Земля и Вселенная. 2024, № 1, с. 36-48. Рус.*

Молодой Марс был очень похож на раннюю Землю. С большой долей вероятности планетологи говорят о том, что в определенный промежуток времени до 3.6 млрд лет назад климат на Марсе был теплым и влажным, атмосфера достаточно плотной и мощной, на поверхности текли реки, формировались озера, а какое-то время существовал даже океан. Именно тогда там могла появиться жизнь. Во всяком случае, если мы правильно понимаем палеоисторию Марса и условия, необходимые для возникновения жизни, ничего этому не препятствовало.

25.01-01.448 Экзопланеты в Галактике. *Беленькая Е.С., Алексеев И.И., Калегаев В.В. Земля и Вселенная. 2024, № 1, с. 49-55. Рус.*

25.01-01.449 Каким может быть первый крылатый исследователь Красной планеты? *Карпович Е.А., Комбаев Т.Ш., Фориштер Е.Б. Земля и Вселенная. 2024, № 1, с. 56-69. Рус.*

Марс - изрезанная разломами, вулканами и каньонами ледяная пустыня с тонкой атмосферой, почти не защищенная от ионизирующего космического излучения. Сформировавшись примерно в то же время, что и наша планета, Марс существенно отличается от Земли по размеру, климату, ландшафту, и во многих других аспектах.

25.01-01.450 На Мимасе обнаружили молодой океан. *Земля и Вселенная. 2024, № 1, с. 70-71. Рус.*

Группа астрономов из Франции и Китая нашла еще одно подтверждение тому, что на самом маленьком регулярном спутнике Сатурна — Мимасе под слоем льда толщиной 20—30 км может скрываться океан. Как подсчитали авторы, образовался он по геологическим меркам недавно - не позднее 25 млн лет назад и продолжает эволюционировать и сейчас.

25.01-01.451 Телескоп ALMA увидел в протопланетном диске огромную массу воды. *Земля и Вселенная.* 2024, № 1, с. 71-72. Рус.

Группе американских и европейских астрономов впервые удалось выяснить как водяной пар распределяется в газопылевом диске у молодой звезды HL Тельца и «взвесить» его. По подсчетам авторов, в пределах снеговой линии диска (там, где вода не замерзает) содержится эквивалент 3.7 земных океанов. Исследование важно тем, что помогает понять раннюю эволюцию Солнечной системы и, возможно, приближает ученых к ответу на главный вопрос - как вода появилась на Земле. Результаты опубликованы в журнале *Nature Astronomy*.

25.01-01.452 Колонка главного редактора. Зелёный Л.М. *Земля и Вселенная.* 2024, № 2, с. 3-6. Рус.

25.01-01.453 Использование пилотируемых космических комплексов для проведения научных исследований. *Петрукович А.А., Зарубин Д.С.* *Земля и Вселенная.* 2024, № 2, с. 7-23. Рус.

Создание и эксплуатация пилотируемых станций создает «локомотивный» эффект для решения разнообразных задач по освоению космоса человеком и использованию результатов космической деятельности на Земле.

25.01-01.454 Изучение Земли в эксперименте "Ураган". *Беляев М.Ю.* *Земля и Вселенная.* 2024, № 2, с. 24-43. Рус.

25.01-01.455 Эксперимент на космической аппаратуре "Плазменный кристалл-4". *Зобнин А.В., Липаев А.М., Усачев А.Д.* *Земля и Вселенная.* 2024, № 2, с. 44-62. Рус.

25.01-01.456 Фантомы-свидетели, космонавты и радиация. *Шуршаков В.А., Иванова О.А., Карцев И.С.* *Земля и Вселенная.* 2024, № 2, с. 63-76. Рус.

С чем ассоциируется слово «радиация»? Кто-то сразу вспомнит о подвигах ликвидаторов аварии на Чернобыльской атомной станции, а кто-то - о разрушенных атомными бомбами японских городах Хиросима и Нагасаки. Ну а кто-то будет вспоминать дату последнего посещения поликлиники, когда лечащий врач написал направление на рентгеновский снимок грудной клетки. Такое явление, как радиация, обычно никак не связывается ни с полетами в космос, ни с профессией «космонавт». И все же отделять их нельзя. Ведь радиация - неотъемлемый и неустранимый фактор любого окружающего пространства, в том числе космического, вдали от Земли, где вопрос радиационной безопасности особенно актуален. Как радиация ограничивает наши возможности, как долго с учетом радиационного фактора можно безопасно для здоровья пребывать в условиях космического полета - попробуем вместе разобраться.

25.01-01.457 Эксперимент "БТН-Нейтрон": изучение радиационного фона на борту МКС и РОС. *Митрофанов И.Г., Литвак М.Л., Головин Д.В., Козырев А.С., Мокроусов М.И., Пеков А.Н., Третьяков В.И.* *Земля и Вселенная.* 2024, № 2, с. 77-90. Рус.

Радиационный фон на борту космической станции на орбите вокруг Земли представляет собой как космическое излучение, проникающее из межпланетной среды, так и вторичное излучение, возникающее в результате взаимодействия потоков заряженных частиц высоких энергий с верхней атмосферой Земли и материалами орбитальной станции. Поэтому, наблюдая за радиационным фоном на околоземной орбите, можно одновременно изучать фундаментальную физику и решать важные практические задачи. В частности, измерения нейтронного фона на земной орбите позволяют оценить вклад нейтронов в полную дозу радиации и предложить эффективную радиационную защиту экипажа и аппаратуры на орбите Земли (орбитальные станции МКС или РОС) или во время длительного межпланетного полета.

25.01-01.458 Мониторинг космического мусора и перспективы освоения околоземного космического пространства. *Ипатов А.В., Ведешин Л.А., Герасютин С.А.* *Земля и Вселенная.* 2024, № 2, с. 91-108. Рус.

После запуска первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) прошло более 65 лет. За это время человечество превратило

орбиту планеты в огромную техногенную свалку, представляющую собой искусственные космические объекты (КО): ИСЗ, другие космические аппараты, их части, верхние ступени и разгонные блоки ракет и их обломки, а также опасные ядерные и токсичные материалы, мелкие чешуйки засохшей краски, частицы обшивки и т. д. КО неисправны и не функционируют, но являются опасным фактором воздействия на работающие космические аппараты (КА): ИСЗ, пилотируемые корабли и орбитальные станции. В околоземном космическом пространстве (ОКП) скопилось множество вышедших из строя КО и их фрагментов, которые представляют реальную опасность для КА, особенно пилотируемых. Космический мусор (техногенное засорение космоса (КМ) создает наиболее острую, пока не решаемую экологическую проблему космонавтики и остановить процесс засорения ОКП невозможно. Сейчас для наблюдения за космическим мусором применяются различные системы контроля ОКП, крупные части КМ каталогизируются, осуществляется его мониторинг для предупреждения столкновения с ним КА, создаются различные методики очистки ОКП и проекты борьбы с КМ.

25.01-01.459 О чем звучат метеоры. *Морозова Т.И.* *Земля и Вселенная.* 2024, № 2, с. 109-115. Рус.

Метеоры — это явления, которые своей загадочностью всегда привлекали человека. Метеорное вещество постоянно поступает в атмосферу Земли. В день на Землю выпадает около 100 тонн космической пыли (а на ранней Земле это число было в разы больше). Сравнительно небольшие метеорные тела сгорают на высотах 80—120 км, более крупные могут проникать в глубокие слои атмосферы и достигать поверхности Земли.

25.01-01.460 Вулканы Ио продолжают непрерывно извергаться уже 4.5 миллиарда лет (*Katherine de Kleer et al. Isotopic evidence of long-lived volcanism on Io. Science 384, 682-687 (2024). DOI:10.1126/SCIENCE.ADJ0625*). *Земля и Вселенная.* 2024, № 2, с. 116-117. Рус.

Группа ученых из Калифорнийского технологического института, Центра космических полетов имени Годдарда и Калифорнийского университета в Санта-Барбаре (США) пришли к выводу, что вулканы на спутнике Юпитера Ио продолжают непрерывно извергаться вот уже на протяжении 4.57 миллиарда лет — т.е. с момента образования спутника планеты-гиганта.

25.01-01.461 Активность гейзеров на Энцеладе регулирует движение льда *Jet activity on enceladus linked to tidally driven strike-slip motion along tiger stripes. Nat. Geosci. 17, 385-391 (2024). HTTPS://DOI.ORG/10.1038/S41561-024-01418-0. Macromolecular organic compounds from the depths of enceladus. Nature 558, 564-568 (2018). HTTPS://DOI.ORG/10.1038/S41586-018-0246-4*. *Земля и Вселенная.* 2024, № 2, с. 117-118. Рус.

Группа американских планетологов из Калифорнийского технологического института предложила гипотезу, которая объясняет, почему активность гейзеров на южном полюсе спутника Сатурна Энцеладэ происходит с определенной периодичностью.

25.01-01.462 Колонка главного редактора. Зелёный Л.М. *Земля и Вселенная.* 2024, № 3, с. 3-5. Рус.

25.01-01.463 Эволюция галактик: подарки окружения. *Сильченко О.К.* *Земля и Вселенная.* 2024, № 3, с. 6-15. Рус.

Галактики — огромные звездно-газовые системы, основное видимое «население» Вселенной - бывают очень разные по форме (форму галактик называют морфологией), а также по размерам, по массам, по цвету. Много видимых характеристик есть у галактик, и все они изменяются в интервалах многих порядков величины даже в самой небольшой области Вселенной, которую мы в деталях наблюдаем вокруг нас. Из самых общих соображений, кажется, что все эти характеристики должны изменяться и у одной конкретной галактики тоже в течение ее жизни - это называется эволюцией.

25.01-01.464 Складки пространства—времени: история поиска космических струн во Вселенной. *Сажин*

на *О.С. Земля и Вселенная*. 2024, № 3, с. 16-28. Рус.

Современные науки, изучающие космическое пространство — астрометрия, механика, астрофизика, космология — смогли достичь глубокого понимания природы и эволюции космических объектов, точнейшего определения их динамики, а также понимания строения и эволюции Вселенной в целом, начиная с Большого взрыва и заканчивая не просто современным моментом времени, но экстраполируя наиболее вероятные сценарии в далекое будущее.

25.01-01.465 **От Земли до Вселенной: история определения расстояний.** *Цветков А.С.* *Земля и Вселенная*. 2024, № 3, с. 29-48. Рус.

Измерение расстояний в астрометрии, астрофизике и космологии — это одна из ключевых задач для понимания устройства и динамики нашей Вселенной и объектов в ней. Этим вопросом задавались мыслители еще с античных времен, и до сих пор он окончательно не решен. В статье пойдет речь о том, как измеряли космические расстояния в прошлом и какие существуют современные методы определения расстояний до звезд и галактик, а также какие трудности при этом возникают.

25.01-01.466 **Философия космизма и становление российской астробиологии.** *Коцюрбенко О.Р., Говорова А.Ф.* *Земля и Вселенная*. 2024, № 3, с. 49-74. Рус.

Астробиология рассматривает такие интригующие вопросы, как происхождение жизни, ее поиск и распространение в космосе. Эта научная дисциплина активно развивается в Европе и США. Ведется активная научная деятельность, внедряются новые образовательные программы. В России астробиология развивается в основном за счет деятельности отдельных научных групп, конференций и семинары регулярно проводят несколько ведущих организаций.

25.01-01.467 **Мониторинг космического мусора и перспективы освоения околоземного космического пространства (окончание).** *Ипатов А.В., Ведешин Л.А., Герасютин С.А.* *Земля и Вселенная*. 2024, № 3, с. 75-84. Рус.

В настоящее время функционирующие КО уклоняются от КМ по команде с Земли. У МКС есть условный защитный периметр: 1,5×50×50 км. Если траектория объекта проходит через него, то МКС выполняет маневр уклонения. При высокой вероятности столкновения экипаж станции переводится в возвращаемый корабль, чтобы в случае аварии экстренно эвакуироваться.

25.01-01.468 **Второй телескоп Америки.** *Соломонов Ю.В., Герасютин С.А.* *Земля и Вселенная*. 2024, № 3, с. 85-98. Рус.

Читатели старшего поколения хорошо помнят, что в середине XX в. крупнейшим телескопом США был 5-метровый рефлектор обсерватории Маунт-Паломар. Тогда как и о других телескопах США писали мало, не говоря уже о концепции Хирама Перкинса, в которой он определил термин «Второй телескоп Америки», в советской и российской литературе по астрономии не писали. В статье рассказывается, как шло соревнование в создании все больших телескопов-рефлекторов в XX в.

25.01-01.469 **О прогнозе экстремальных событий в природе и обществе.** *Соловьёв А.А.* *Земля и Вселенная*. 2024, № 3, с. 99-118. Рус.

Сегодняшняя цивилизация весьма уязвима к кризисам, возникающим в результате экстремальных событий, порожденных сложными и плохо изученными системами. Иерархические сложные, нелинейные системы неперестают порождать экстремальные события, которые представляют собой редкие, быстрые изменения, оказывающие сильное влияние на систему и ее окружение. Статья подготовлена по материалам книги «Prediction of Extreme Events in Nature and Society» (V.I. Keilis-Borok. Ed.: A.A. Soloviev. Ori Books. USA. 2018. ISBN: 978-1-940076-44-7. <https://doi.org/10.28935/9781940076447>) и научно-го доклада чл.-корр. РАН Александра Анатольевича Соловьёва на заседании Президиума Российской академии наук 29 декабря 2009 г.

25.01-01.470 **Китай и Франция запустили обсерваторию для наблюдения за гамма-всплесками.** *Земля и Вселенная*. 2024, № 3, с. 119-120. Рус.

22 июня с космодрома Сичан на западе Китая стартовала ракета «Чанчжэн-2С». Она вывела на низкую околоземную орбиту китайско-французскую астрономическую обсерваторию SVOM, а также попутный китайский микроспутник SATCN-1. Аббревиатура расшифровывается как Космический многодиапазонный астрономический монитор переменных объектов (Spacebased multi-band astronomical Variable Objects Monitor).

25.01-01.471 **VeriColombo во время четвертого гравитационного маневра сфотографировал Меркурий на близком расстоянии.** *Земля и Вселенная*. 2024, № 3, с. 121-122. Рус.

4 сентября 2024 г. космический аппарат VeriColombo — совместный проект Европейского космического агентства (ESA) и Японского аэрокосмического агентства (JAXA) во время своего четвертого гравитационного маневра у Меркурия приблизился к планете на расстояние всего около 165 км от поверхности (до этого самый близкий пролет над Меркурием совершил аппарат MESSENGER в 2008 г.— тогда снимки были сделаны с высоты 199 км).

25.01-01.472 **Колонка главного редактора.** *Зелёный Л.М.* *Земля и Вселенная*. 2024, № 4, с. 3-6. Рус.

25.01-01.473 **Лунная одиссея 2024 года. Начало освоения "Седьмого континента Земли".** *Зелёный Л.М., Зарубин Д.С., Петрукович А.А.* *Земля и Вселенная*. 2024, № 4, с. 7-29. Рус.

Многие помнят, как принято говорить, «культовый» научно-фантастический фильм Стэнли Кубрика «Космическая одиссея 2001 года», созданный в 1968 г. и ставший вехой в развитии кинофантастики и мирового кинематографа. Сегодня это время реализации планов, еще недавно казавшихся фантастическими, наступило. На наших глазах происходит резкий переход от чисто научных исследований Луны к началу ее полномасштабного освоения и подготовка к будущему использованию ресурсов нашего «седьмого континента». Авторы благодарят за помощь в подготовке статьи И.Г. Митрофанова, В.И. Третьякова, О.В. Закутную и Ю.Н. Макушенко.

25.01-01.474 **Магнитное поле хвоста магнитосферы Земли и перенос лунной пыли.** *Зелёный Л.М., Голубь А.П., Морозова Т.И., Попель С.И.* *Земля и Вселенная*. 2024, № 4, с. 30-35. Рус.

Луна не имеет собственного магнитного поля, однако она проводит четверть своей орбиты в хвосте магнитосферы Земли, где на лунную экзосферу воздействуют магнитные поля. Как оказалось, магнитные поля хвоста магнитосферы Земли могут определять динамику заряженной пыли и ее распределение по широтам над освещенной поверхностью естественного спутника Земли.

25.01-01.475 **Четвертая Всероссийская викторина юных физиков ОФН РАН.** *Голованова А.В., Магарян К.А., Иноземцева А.В., Наумов А.В.* *Земля и Вселенная*. 2024, № 4, с. 36-42. Рус.

Во время майских каникул представители РАН — академики, члены-корреспонденты и профессора РАН из Отделения физических наук (ОФН) предлагали найти ответы на нетривиальные вопросы из области физики и астрономии. Главная особенность предлагаемых к решению задач — необходимость расширения кругозора, междисциплинарный подход, а иногда и неоднозначность предлагаемых решений. В статье представлены результаты проведенной викторины вместе с авторскими условиями и решениями задач, касающихся вопросов астрономии, астрофизики, наук о Земле и космосе.

25.01-01.476 **Четвертая всероссийская викторина юных физиков ОФН РАН. Вопросы.** *Либанов М.В., Глазов М.М., Зелёный Л.М.* *Земля и Вселенная*. 2024, № 4, с. 43-44. Рус.

25.01-01.477 **Взгляд в будущее лунных баз.** *Шубин П.С.* *Земля и Вселенная*. 2024, № 4, с. 45-53. Рус.

Сейчас, в середине 20-х годов XXI в., можно определенно сказать, что контуры второй лунной пилотируемой гонки уже сформировались. Спроектированы или находятся в разработке сверхтяжелые носители для отправки человека к Луне, отработаны корабли для полета к Луне и возвращения человека на

Землю, начинает раскручиваться беспилотная программа изучения Луны. В 2030-х гг. все эти вложения должны дать заметный результат и человек вновь вступит на поверхность Луны.

25.01-01.478 "Чанъэ-6" вернулась! Лисов И.А. Земля и Вселенная. 2024, № 4, с. 54-63. Рус.

25 июня 2024 г. в 14:07 пекинского времени (06:07 UTC) возвращаемый аппарат китайского комплекса «Чанъэ-6» успешно приземлился на посадочном полигоне в хошуне Сыцзюван Автономного округа Внутренняя Монголия, доставив образцы лунного грунта из кратера Аполлон. Вторая китайская экспедиция за лунным веществом - и первая в мире за образцами с обратной стороны Луны— завершилась полным успехом.

25.01-01.479 О Е. П. Левитане. К 90-летию со дня рождения. Рябцева Л.В. Земля и Вселенная. 2024, № 4, с. 64-65. Рус.

Летом 2024 г. исполнилось бы 90 лет со дня рождения Ефрема Павловича Левитана, важнейшего человека в судьбе нашего журнала. С самого основания «Земли и Вселенной» и до своего ухода из жизни в 2012 г. он был заместителем главного редактора журнала и фактически был (являлся) его руководителем. О Ефреме Павловиче, его вкладе в дело популяризации астрономии и космических исследований вспоминают его коллеги, работавшие и работающие в редакции журнала в разные периоды его существования.

25.01-01.480 Памяти Ефрема Павловича Левитана. Герасютин С.А. Земля и Вселенная. 2024, № 4, с. 66-77. Рус.

Вспоминая моего учителя и наставника Ефрема Павловича Левитана (1934—2012), с 1964 г. до своего ухода из жизни бесшумного руководителя редакции нашего журнала — одна из главных его заслуг, мне хотелось бы отметить его организаторский талант и энтузиазм в стремлении через печатное слово донести глубокие научные знания до российского читателя, особенно в области астрономии.

25.01-01.481 Астрономическому кружку Московского планетария - 90 лет. Рублёва Ф.Б., Перзеньяк А.Н. Земля и Вселенная. 2024, № 4, с. 78-88. Рус.

Для Московского планетария 2024 год — дважды юбилейный: 95 лет со дня открытия Планетария и 90 лет со дня основания астрономического кружка - уникальной астрономической школы, воспитавшей не одно поколение астрономов и любителей. Есть еще один очень важный юбилей, без которого не случилось бы два предыдущих — 100 лет назад немецкий инженер оптического завода Карла Цейса в Йене Вальтер Бауэрсфельд (1879—1959) изобрел оптико-механический проектор звездного неба — аппарат «Планетарий» (он также создал первый в мире геодезический купол— знаменитый планетарий в Йене в 1926 г.).

25.01-01.482 Из истории первого "космического" архива. Добренская М.В. Земля и Вселенная. 2024, № 4, с. 89-103. Рус.

Сохранение документального наследия по истории ракетно-космической отрасли имеет важное значение для понимания путей развития отечественной космонавтики, для формирования социо-культурной и исторической идентичности российских граждан.

25.01-01.483 Планетологи подтвердили гипотезу о том, что молодую Луну покрывал океан магмы. Говорова А.Ф. Земля и Вселенная. 2024, № 4, с. 104-105. Рус.

Еще одно доказательство гипотезы существования лунного океана магмы обнаружили геологи и планетологи из Лаборатории физических исследований, Университета Хемвати Нандан Бахугуна Гарвал, Спутникового центра им. У.Р. Рао и других научных центров Индийской организации космических исследований.

25.01-01.484 Четвертая Всероссийская викторина юных физиков ОФН РАН. Ответы. Голованова А.В., Магарян К.А., Иноземцева А.В., Наумов А.В. Земля и Вселенная. 2024, № 4, с. 106-114. Рус.

25.01-01.485 Поиск новых нетривиальных хореографий для плоской задачи трех тел. Христов И., Христова Р., Пузынин И., Пузыни-

на Т., Шарипов З., Тухмиев З. Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2024. 55, № 3, с. <https://pepan.jinr.ru/index.php/PePan/article/view/963>. Рус.

Проведен численный поиск с высокой точностью новых нетривиальных хореографий для плоской задачи и трех тел. Вследствие этого нашли 161 новую нетривиальную хореографию, ранее было известно только о трех. Линейная устойчивость всех найденных орбит исследуется путем высокоточного вычисления собственных значений матриц монодромии.

25.01-01.486 Нейтронные звезды и черные дыры как природные лаборатории фундаментальной физики. Захаров А.Ф. Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2024. 55, № 4, с. 850-851. Рус.

Статистика частиц с полудельным спином была построена в 1926 г. в работах Э. Ферми и П.А.М. Дирака. Вскоре после этого стало понятно, что эта статистика крайне важна для построения теории таких компактных объектов, как белые карлики. В этом случае существует предельная масса таких объектов, которую называют пределом Чандрасекара. Нейтрон был открыт Чедвиком в 1932 г., и уже в 1933 г. Бааде и Цвикки высказали предположение, что существуют нейтронные звезды, которые возникают в результате взрывов сверхновых и коллапса массивного ядра. В 1968 г. были открыты пульсары, и вскоре выяснилось, что пульсары — это нейтронные звезды с гигантскими магнитными полями. Двойные нейтронные звезды (как в системе двойного пульсара, так и в событии взрыва килоновой GW170817) сыграли ключевую роль в обнаружении гравитационного излучения, предсказываемого общей теорией относительности. В 1963 г. были обнаружены квазары — достаточно компактные объекты с гигантским энерговыделением, находящиеся на космологическом расстоянии. Вскоре стало ясно, что наиболее естественная модель квазаров включает в себя сверхмассивную черную дыру. Наблюдения движения ярких звезд в окрестности галактического центра и реконструкция теней в центре галактики М87 и центре нашей Галактики по данным наблюдений синхротронного излучения на длине волны 1,3 мм дают дополнительные подтверждения наличия сверхмассивных черных дыр в центрах этих галактик.

25.01-01.487 Постоянная Хаббла в столкновениях тяжелых ионов. Воронюк В., Коломейцев Е.Э., Коломеец Н.В., Теряев О.В., Цегельник Н.С. Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2024. 55, № 4, с. 1118-1127. Рус.

Представлены предварительные результаты для временных зависимостей микроскопической постоянной Хаббла, соответствующей пионам и нуклонам, родившимся в столкновении двух ядер золота при $\sqrt{s_{NN}}=7,8$ ГэВ и $b=7,5$ фм. Данные смоделированы в рамках RHSD-модели. Детально рассмотрен используемый обычно в литературе метод определения параметра Хаббла путем фитирования профиля скорости. Предложен новый метод, состоящий в анализе статистического распределения дивергенции поля скорости и нахождении постоянной Хаббла как положения определенного пика распределения. Выполнено сравнение методов.

25.01-01.488 Новый метод решения уравнения Бете—Солпитера. Балаберников А.И., Доркин С.М., Каптарь Л.П. Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2024. 55, № 4, с. 1211-1216. Рус.

Исследуется уравнение Бете—Солпитера в координатном представлении, которое имеет вид дифференциального уравнения четвертого порядка для амплитуды Бете—Солпитера. Для модели скалярных частиц, взаимодействующих через обмен скалярной массовой частицей, предложен метод его решения. Находятся константы связи и амплитуды в зависимости от массы связанного состояния. Найденные константы связи сравниваются с полученными в других подходах.

25.01-01.489 Фотонная суперзвезда. совместимость теории гравитации с квантовой физикой. Славнов Д.А. Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2024. 55, № 5, с. 1468-1498. Рус.

Рассматривается физическая модель, которая основывается на гипотезе существования фотонной суперзвезды. Показыва-

ется, что в этой модели с единых позиций можно описывать гравитацию и квантовые явления.

25.01-01.490 Возможные проявления компактных стабильных объектов темной материи в Солнечной системе. *Покровский Ю.Е. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1598-1599. Рус.

Продолжено исследование возможного влияния компактных стабильных объектов темной материи на формирование циклов активности Солнца применительно к первичной черной дыре (ПЧД) массой, характерной для астероидов и спутников планет. В численных расчетах использованы наиболее точные астрономические данные об орбитах планет и астероидов Солнечной системы. Все динамические расчеты Солнечной системы проводились в рамках постньютоновского приближения, что особенно важно для расчета существенно эксцентрической траектории ПЧД, проходящей вблизи (и даже внутри) поверхности Солнца. Такие расчеты дают возможность использовать Солнечную систему как детектор возможной планеты из темной материи. Известно, что астрономические данные ограничивают суммарную массу объектов темной материи, расположенных в пределах орбиты Сатурна: не более $1,7 \cdot 10^{-10}$ массы Солнца ($\sim 0,005$ массы Луны или $\sim 0,4$ массы астероида Церера). Показано, что ПЧД массой $\sim 10^{10}$ солнечной массы на сильно эксцентрической орбите с периодом 11 лет может проявить себя как триггер солнечного динамо с 11-летней циклической активностью. Более того, показано, что на определенной траектории ПЧД наблюдаемые вариации солнечной активности хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными. При этом гравитационное взаимодействие такой ПЧД с Солнцем и другими планетами Солнечной системы (в особенности с Меркурием, Венерой, Землей, Марсом, Юпитером и Сатурном) приводит к объяснению минимумов Маундера, Дальтона и других долгосрочных изменений амплитуды циклов солнечной активности.

25.01-01.491 Результат эксперимента "Нейтрино-4 стерильные нейтрино, темная материя и стандартная модель, расширенная правыми нейтрино. *Серебров А.П., Самойлов Р.М., Жеребцов О.М., Буданов Н.С. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1600-1616. Рус.

Анализ результатов эксперимента «Нейтрино-4» и данных экспериментов GALEX, SAGE и BEST подтверждает параметры нейтринных осцилляций, заявленные экспериментом «Нейтрино-4» ($\Delta m_{41}^2 = 7,3 \text{ эВ}^2$ и $\sin^2(2\theta_{14}) \approx 0,36$), и увеличивает их достоверность до $5,8\sigma$. Такое стерильное нейтрино термализуется в космической плазме, дает вклад в плотность энергии Вселенной 5% и может объяснить 15–20% темной материи. Обсуждается, что расширение нейтринной модели введением еще двух тяжелых стерильных нейтрино в соответствии с числом типов активных нейтрино, но с очень малыми углами смешивания, чтобы избежать термализации, позволяет довести вклад стерильных нейтрино в темную материю Вселенной до уровня 27% и объяснить крупномасштабную структуру Вселенной. Представлен динамический процесс зарождения темной материи, состоящей из трех правых нейтрино. Показано, что современные астрофизические данные по массовому содержанию 4He не позволяют сделать определенное заключение в пользу модели трех или четырех термализованных нейтрино.

25.01-01.492 Темная материя с точки зрения глюонного Бозе—Эйнштейновского конденсата в геометрии анти-де-Ситтера. *Козн-Таннуджс Ж. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1617. Рус.

Стандартная модель космологии ΛCDM включает в себя два темных компонента Вселенной: темную энергию и темную материю. В то время как темная энергия обычно соотносена с (положительной) космологической постоянной Λ , связанной с геометрией де Ситтера, предлагается объяснение темной материи как чистого эффекта КХД, а именно глюонного бозе-эйнштейновского конденсата со статусом космического глюонного фона. Этот эффект обусловлен следовой аномалией, рассматриваемой как эффективная отрицательная космологическая константа, определяющая геометрию анти-де-Ситтера и сопутствующую барионную материю при адронизационном пе-

реходе из фазы кварк-глюонной плазмы в бесцветную адронную фазу. Данный подход также позволяет принять соотношение темный/видимый равным $11/2$.

25.01-01.493 Взаимозависимость бозонной черной дыры с темной материей и объяснение асимптотически плоских кривых вращения галактик. *Мейерович В.Э. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1618-1629. Рус.

Возможность равновесного статического состояния сколлапсировавшей черной дыры, окруженной темной материей, позволяет понять существование плоских кривых вращения звезд на периферии галактики. При доминирующей гравитации энергетически наиболее выгодным состоянием предельно сжатой черной дыры является конденсат Бозе—Эйнштейна. Волновой функцией, адекватно описывающей наблюдаемые проявления темной материи, оказалось продольное векторное поле. На примере конденсата бозонов Z , W и H Стандартной модели элементарных частиц (с энергиями покоя порядка 100 ГэВ) исследована зависимость кривых вращения звезд от массы черной дыры в центре галактики. При таком составе черной дыры с массой порядка солнечной ($2 \cdot 10^{33}$ г) вклад в гравитационное поле от темной материи преобладает. При этом плато на кривой вращения галактики явно выражено. С увеличением массы черной дыры вклад в гравитацию от темной материи падает, а от черной дыры растет. Масса черной дыры в центре галактики Млечный Путь на 7 порядков больше массы Солнца. Доминирует вклад в гравитацию от черной дыры. Поэтому в нашей Галактике скорость вращения звезд как функция радиуса $V(r)$ убывает пропорционально $1/\sqrt{r}$ по закону Ньютона.

25.01-01.494 Точные решения уравнений Эйнштейна в присутствии скалярного поля. *Мирза Б., Садеги Ф. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1630. Рус.

Рассматривается класс точных решений уравнений Эйнштейна в присутствии скалярного поля, которое имеет три свободных параметра и становится метрикой Янса—Ньюмана—Виникура (JNW) и γ -метрикой в некотором пределе параметров. Также объясняется вращающаяся форма класса осесимметричных метрик, который содержит вращающиеся гамма- и JNW-метрики, а также метрику Богуша—Гальцова при определенных значениях параметров.

25.01-01.495 Астрофизические исследования общей теории относительности. *Захаров А.Ф. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1631-1632. Рус.

На начальном этапе развития общая теория относительности (ОТО) получила проверку и подтверждение в пределе слабого гравитационного поля. Однако с развитием технологий астрономических наблюдений начали обсуждаться и подтверждаться предсказания ОТО и в сильном гравитационном поле, такие как профиль рентгеновской линии железа $K\alpha$ (в случае, если область излучения находится очень близко к горизонту событий), траектории частиц и звезды вблизи черных дыр, а также формы и размеры теней сверхмассивных черных дыр в M87* и Sgr A*. В 2005 г. было предсказано, что тень черной дыры в галактическом центре может быть восстановлена с помощью метода наблюдений РСДБ в миллиметровом или субмиллиметровом диапазоне, что было подтверждено результатами анализа изображения тени черной дыры для Sgr A*, полученными коллаборацией «Телескоп горизонта событий» (ТГС) в 2022 г. В 2019 г. команда ТГС представила первую реконструкцию изображения вокруг тени сверхмассивной черной дыры в M87*. В 2021 г. команда ТГС ограничила параметры («заряды») сферически-симметричных метрик черных дыр допустимым интервалом для радиуса тени в M87*. В 2022 г. коллаборация ТГС реконструировала тень вокруг центра Галактики и ограничила значения показателей для сверхмассивной черной дыры. Ранее были получены аналитические выражения для радиуса тени как функции заряда (в том числе приливного) в случае метрики Рейсснера-Нордстрема. На основе результатов оценки размера тени для M87*, выполненной командой ТГС, ограничен приливной заряд. Обсуждаются возможности использования теней для проверки альтернативных теорий гра-

витации и альтернативных теорий для галактических центров.

25.01-01.496 Проверка общей теории относительности с помощью рентгеновских данных черных дыр. *Бамби К. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1633. Рус.

Общая теория относительности успешно прошла большое количество наблюдательных проверок, не требуя каких-либо корректировок, по сравнению с первоначальной версией, предложенной Эйнштейном в 1915 г. За последние 8 лет были достигнуты значительные успехи в изучении режима сильного поля, который теперь можно проверить с помощью гравитационных волн, рентгеновских данных и изображений черных дыр. Это компактный и педагогический обзор современного состояния тестов общей теории относительности с рентгеновскими данными черных дыр.

25.01-01.497 Цветоэлектрический и цветомагнитный конфайнмент. *Агасян Н.О., Хайдуков З.В., Лукашов М.С., Симонов Ю.А. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1634. Рус.

Основные свойства механизма конфайнмента в КХД — температурные зависимости пространственного (цветомагнитного) и временного (цветоэлектрического) натяжений струн ($\sigma_s(T)$ и $\sigma_E(T)$) — изучаются в рамках метода полевых корреляторов. Обсуждается взаимосвязь цветомагнитного натяжения струны с функцией Грина двуглоонного глюолампа при конечных температурах. Показан рост цветомагнитного конденсата с увеличением температуры. Показано, что цветоэлектрическая компонента нивелируется адронным давлением при $T = T_c$ (что соответствует деконфайнменту). Оба наблюдаемых свойства обнаружены в рамках одного метода и находятся в хорошем согласии с решеточными данными.

25.01-01.498 Электромагнитные свойства нейтрино на 2023 г. *Студеникин А. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1637. Рус.

Представлены краткий обзор электромагнитных свойств и история развития исследований осцилляций нейтрино. Обсуждаются новые явления во флейворных и спиновых осцилляциях нейтрино в магнитном поле и движущемся веществе.

25.01-01.499 Эффекты взаимодействия аксиноподобной темной материи с частицами стандартной модели. *Силенко А.Я. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1638. Рус.

Аксиноподобная темная материя взаимодействует с частицами, как аксион. Аксион — гипотетическая частица, являющаяся квантом псевдоскалярного поля. Первоначально это было постулировано Печчеи и Квинн в 1977 г. для решения сильной проблемы CP в КХД. Если аксионы существуют, то они представляют интерес как возможный компонент холодной темной материи. Аксион-фотонное взаимодействие искажает электромагнитное поле и приводит к обратному эффекту Примакова, который можно наблюдать с помощью галоскопов. CP-инвариантность аксион-глюонного взаимодействия приводит к появлению осциллирующих электрических дипольных моментов нуклонов, которые пропорциональны аксионному полю. Аксионы проявляют себя при прямом взаимодействии с частицами (так называемый эффект аксионного ветра). Строго определяется релятивистская спиновая динамика, заданная псевдоскалярным полем аксионов темной материи.

25.01-01.500 Введение в нелокальную теорию поля включая гравитацию. *Красников Н.В. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1640. Рус.

Дан мини-обзор по нелокальной теории поля (теории поля с бесконечным количеством производных). Обсуждаются основные особенности нелокальной теории поля на примере $d=4$ скалярной Φ^4 -модели. Нелокальная f^4 -модель ультрафиолетово конечна, унитарна и макропричинна. Одной из проблем нелокальной теории поля является то, что формфактор — произвольная целая функция, а это делает предсказания в такой модели чрезвычайно слабыми. Предлагается использовать дополнительный принцип, позволяющий фиксировать форму формфактора. Также дан обзор основных результатов, полученных в нелокальной квантовой гравитации, а именно: нелокальное

обобщение эйнштейновской гравитации приводит к суперперенормируемой теории.

25.01-01.501 Черная темная материя и антивещество. *Долгов А.Д. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1641. Рус.

Показано, что плотное население ранней Вселенной с хорошо развитыми галактиками и сверхмассивными черными дырами (квазарами), наблюдаемое HST и JWST, хорошо соответствует гипотезе о том, что галактики и квазары засеяны первичными черными дырами (PBHs), предложенной в нашей работе более 30 лет назад. Идея заселения галактик массивными черными дырами недавно была открыта вновь, что отражено в публикациях нескольких групп. Предсказанный логарифмически нормальный спектр масс PBHs очень хорошо согласуется с наблюдениями. Другое наше предсказание заметного количества антивещества в Галактике также подтверждается данными.

25.01-01.502 Гравитация с шестью производными и ультрафиолетовая конечность. *Рачвал Л. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1642. Рус.

Приводятся и обсуждаются хорошо известные условия ультрафиолетовой (УФ) конечности. На примере квантовой теории гравитации с шестью производными в $d=4$ пространстве-времени сравниваются требования полного отсутствия ультрафиолетовых расходимостей в квантовых теориях поля и существования нетривиальной неподвижной точки для потока ренормгруппы в УФ-режиме. Здесь исчезновение бета-функций эквивалентно возникновению конформной симметрии на квантовом уровне. В этой модели впервые стало возможным иметь полностью УФ-конечную квантовую теорию без добавления материи или специальной симметрии, но за счет включения дополнительных членов, кубических по кривизне. Обсуждаются все необходимые алгебраические условия для того, чтобы это произошло. Наконец, мотивируется утверждение, что на самом деле асимптотическая устойчивость требует УФ-конечных моделей для обеспечения явной формы УФ-предела вильсоновских эффективных действий, описывающих особые ситуации в конформных фиксированных точках.

25.01-01.503 О принципе относительности инерции как в общей, так и в запутанной теории относительности. *Минаццолли О. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2024. 55, № 6, с. 1643. Рус.

Запутанная теория относительности — это новая теория, предлагающая более экономичный подход, чем общая теория относительности. Она успешно восстанавливает как общую теорию относительности, так и стандартную квантовую теорию поля в определенных (но общих) пределах. Более того, запутанная теория относительности исключает существование пространства-времени, лишённого пронизывающей его материи. Следовательно, по утверждению автора, запутанная теория относительности не только предпочтительнее с точки зрения бритвы Оккама (из-за ее экономичности), но и более соответствует первоначальному представлению Эйнштейна об удовлетворительной теории относительности.

25.01-01.504 Скалярные бозонные звезды: (термо)динамика и гравитационные равновесия. *Козлов Г.А. Физика элементарных частиц и атомного ядра.* 2025. 56, № 1, http://www1.jinr.ru/Рерап/v-56-1/04_Kozlov_ann.pd. Рус.

Проводится (термо)динамический анализ скалярных степеней свободы в скалярных бозонных звездах с помощью последовательного изучения плотности темной материи при экстремальных условиях. Бозонные звезды определены в секторе темных скалярных состояний, причем этот сектор связан с дублетом бозона Хиггса в Стандартной модели с учетом гравитации. Исследуются равновесие и стабильность бозонных звезд на уровне взаимодействия между скалярными полями при нарушении масштабной инвариантности, связанной с нарушением электрослабой симметрии, а также гравитация. Используются аналитические методы, применяемые к эффективной версии рассматриваемой теории поля, приближение скалярной «башни», необходимой для сохранения точной масштабной инвариантности. Обсуждаются вопросы рождения и распадов темной

материи.

25.01-01.505 Многоканальная астрономия. Рожков В., Троицкий С. Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2025. 56, № 1, http://www1.jinr.ru/Рерап/v-56-1/07_Rozhkov_ann.pdf. Рус.

Обзор составлен на основе лекции, прочитанной одним из авторов на международной молодежной конференции «AYSS-2023», и посвящен многоканальной астрономии, изучающей астрофизические объекты и явления с использованием частиц и волн различных типов, приносящих информацию из космоса. Они включают электромагнитные и гравитационные волны, нейтрино и космические лучи. Обсуждаются новые возможности, открывающиеся благодаря совместному использованию разных носителей информации. Сочетание результатов, полученных с помощью различных каналов наблюдения, позволяет получать более полную и точную информацию о процессах, происходящих во Вселенной, и даже использовать ее для изучения фундаментальной физики.

25.01-01.506 Линейный анализ орбитальной устойчивости периодических движений в плоской круговой ограниченной задаче четырёх тел. Волков Е.В. Труды МАИ. 2024, № 4(138), с. <https://trudymai.ru/published.php?ID=182655>. Рус.

Рассматривается плоская круговая ограниченная задача четырёх тел в следующей постановке. Тело малой массы движется под действием сил гравитационного притяжения трёх притягивающих тел, взаимодействующих друг с другом по закону всемирного тяготения. Притягивающие тела располагаются в треугольных точках либрации, т.е. движутся по круговым орбитам, образуя равносторонний треугольник. Движение всех четырёх тел происходит в одной плоскости. Предполагается, что выполнено достаточное условие линейной устойчивости точек либрации (условие Рауса), а массы двух притягивающих тел равны. В данной постановке ограниченная задача четырёх тел допускает частные решения, описывающие положения относительного равновесия тела малой массы во вращающейся вместе с притягивающими телами системе координат. В окрестности устойчивых положений относительного равновесия возможны периодические движения тела малой массы. В данной работе рассматривается задача об орбитальной устойчивости периодических движений тела малой массы, рождающихся из устойчивого положения относительного равновесия. В предположении о малости амплитуды данных периодических движений выполнено аналитическое исследование их орбитальной устойчивости в линейном приближении. При помощи метода малого параметра построены явные асимптотические выражения для границ области параметрического резонанса. Результаты аналитического исследования хорошо согласуются с результатами численного исследования, проведённого ранее.

25.01-01.507 Коррекция аргумента перигея средней эллиптической орбиты с постоянной большой полуосью и различным эксцентриситетом. Иванов С.Г., Гришко Д.А., Баранов А.А. Труды МАИ. 2024, № 4(139), с. <https://trudymai.ru/published.php?ID=183447>. Рус.

Рассматривается задача импульсной коррекции положения линии апсид орбиты космического объекта, находящегося в регионе глобальных навигационных спутниковых систем. Большая полуось и наклонение орбиты считаются известными и равными 26 578 км и 55° соответственно, а эксцентриситет может изменяться от 0 до 0.76 под действием возмущений от Солнца и Луны. Такой эффект обусловлен гравитационным резонансом, возникающим при длительном поддержании суммы долготы восходящего узла и удвоенного аргумента перигея вблизи значения 270°. Возможны две противоположные задачи: увеличение эксцентриситета для увода объекта из района глобальных навигационных систем или создание устойчивой околокруговой орбиты захоронения. В обоих случаях требуется коррекция положения линии апсид. Исследованы затраты характеристической скорости, необходимые для её поворота в случае околокруговой орбиты в данном регионе с ограничением на сохранение значения большой полуоси. Показано, что при эксцентриситете до 0.01 для отклонения аргумента перигея на 90° требуются трансверсальные импульсы скорости не более 25 м/с.

В общем случае для эллиптической орбиты с фиксированной начальной большой полуосью численно найдено решение, позволяющее изменить ориентацию вектора эксцентриситета, при этом происходит уменьшение большой полуоси орбиты. Показано, что затраты на поворот линии апсид на 15° меняются от 50 м/с до 550 м/с для значений эксцентриситета от 0.1 до 0.76. Доказано, что при $e < 0.76$ для формирования устойчивой орбиты захоронения или создания и поддержания гравитационного резонанса, поворот линии апсид экономичнее поворота линии узлов, который выполняется импульсным манёвром или с использованием промежуточной орбиты ожидания.

25.01-01.508 О перемещении вдоль троса космического аппарата с неидеальным солнечным парусом. Васьюкова В.С. Труды МАИ. 2024, № 4(139), с. <https://trudymai.ru/published.php?ID=183449>. Рус.

Рассматривается не требующий затрат топлива способ перемещения грузов в космическом пространстве, реализуемый благодаря использованию космического аппарата с неидеальным солнечным парусом вдоль троса, соединяющего две тяжёлые космические станции, описывающие одну гелиоцентрическую орбиту. Солнечный парус частично поглощает солнечную радиацию, а трос, длина которого превосходит расстояние между станциями, считается невесомым, нерастяжимым и натянутым во все время движения. Относительная скорость этого движения оказывается невелика, натяжение троса незначительно, что позволяет считать влияние космического аппарата на станции несущественным. С учетом сделанных предположений определяется направление нормали к солнечному парусу, обеспечивающее максимальное относительное ускорения космического аппарата, зависящее от его положения и коэффициента отражения материала паруса. Необходимый угол наклона нормали к местной вертикали лежит в диапазоне между углом оптимального положения идеально отражающего паруса и углом между направлением солнечных лучей и касательной к траектории аппарата. Определяется минимально возможная продолжительность перелета между станциями при нулевых начальной и конечной относительных скоростях. Устанавливается, что эта продолжительность увеличивается при ухудшении коэффициента отражения паруса, но остается допустимой для практической транспортировки грузов.

25.01-01.509 Оценка предельной глубины зондирования грунта Луны. Марчук В.Н., Юшкова О.В. Физические основы приборостроения. 2023. 12, № 3, с. 76-81. Рус.

Для исследования поверхности и приповерхностного слоя грунта на орбитальный модуль «Луна 26» планируется установить комплекс радаров подповерхностного зондирования РЛК-Л. РЛК-Л состоит из двух радаров: Радара 20 (частотный диапазон 17.5–22.5 МГц) и Радара 200 (частотный диапазон 140–180 МГц). В работе рассмотрен метод определения толщины слоя грунта Луны, доступного для изучения с помощью радаров этой и других планируемых миссий, приведены формулы для определения предельно достижимой глубины и результаты расчетов.

25.01-01.510 Взаимодействие радиального потока скорости вещества и магнитного потока в зарождающихся активных областях Солнца. Садыков А.М., Красоткин С.А. Ученые записки физического факультета МГУ. 2024, № 6, с. 2460801. Рус.

Исследуются физические процессы формирования активных областей (АО). В частности, проверяется гипотеза всплывания магнитной трубки (магнитного потока) на основе прямых наблюдений магнитного поля и доплеровского смещения, полученных из наблюдений наземной сети телескопов Global Oscillation Network Group (GONG). Исследование охватывает 24 зарождающиеся АО в период с 2011 по 2022 год. Была обнаружена сильная корреляция между магнитным потоком и потоком радиальной скорости опускания. Результаты показывают, что гипотеза всплывания магнитной трубки не может полностью объяснить эволюцию АО на ранних стадиях их развития.

25.01-01.511 Влияние околообъектовой среды на орбитальные космические аппараты. Василяк Л.М., Шубралева Е.В., Чижирев В.Н. Прикладная физика. 2024, № 6, с. 5-10. Рус.

Выполнен анализ исследований свечения метеорных потоков, зарегистрированных в международных космических экспериментах «УФ-атмосфера» с 2019 г. и «Терминатор» на международной космической станции. Анализ показал, что количество зарегистрированных случаев свечения метеоров в УФ области спектра в атмосфере превышает расчетное зенитное часовое число событий, которые увидел бы наблюдатель на Земле. Это различие может быть связано с более точной регистрацией мелких частиц, слабое свечение которые не видно с поверхности Земли на фоне шумов. Обнаружены аэрозольные слоистые структуры в верхних слоях атмосферы при прохождении метеорами высот 90–100 км, как следствие непрерывного поступления микрочастиц из метеорных потоков в период эпохи. При ударе высокоскоростных частиц метеорных потоков о поверхность космического объекта возникают импульсная плазма, импульсные электрические и магнитные поля, импульсы электрического тока, которые воздействуют на космические аппараты и могут приводить к разрушающему воздействию на электронику и на компьютерные программы, что может приводить к отказу аппаратуры.

25.01-01.512 Задача стабилизации углового движения спутника в геомагнитном поле. *Каленова В.И., Морозов В.М., Тихонов А.А.* Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки. 2024. 166, № 4, с. 499-517. Рус.

Рассмотрен спутник на круговой кеплеровской околоземной орбите. Исследована задача стабилизации положения относительного равновесия спутника в орбитальной системе координат при помощи собственного магнитного момента и момента Лоренца. Коэффициенты системы динамических уравнений вращательного движения спутника изменяются во времени из-за изменения геомагнитной индукции в процессе орбитального движения спутника. Линеаризованная система дифференциальных уравнений движения также является нестационарной, но допускает, как показано в статье, приведение к стационарной системе более высокого порядка даже при использовании достаточно точных мультиполярных моделей геомагнитного поля. На этом основании предложен способ построения закона управления, обеспечивающего стабилизацию спутника. Проведен анализ управляемости системы и построен оптимальный алгоритм стабилизации на основе LQR-метода. Эффективность предложенного подхода подтверждена компьютерным моделированием.

25.01-01.513 Численное моделирование асимметричных сценариев сверхновых при наличии экваториального диска. *Урвачев Е.М.* Физика плазмы. 2024. 50, № 7, с. 766-779. Рус.

Поле излучения от многомерного плазменного образования может обладать значительной долей асимметрии. Часто для нахождения светимости такого объекта используют одномерные модели с учетом различных поправочных коэффициентов несферичности. В работе представлена модель определения светимости асимметричных плазменных образований на основе согласованных многомерных радиационно-гидродинамических расчетов на примере сценариев сверхновых с наличием экваториального диска. Проведено сравнение с данными наблюдений сверхновой SN2009ip. Определены болометрические кривые светимости при наблюдении такого объекта в плоскости диска и с полюса. Сделан вывод о невозможности описания многомерной структуры поля излучения в рамках одномерной модели с поправочными коэффициентами — требуется проведение полного трехмерного моделирования.

25.01-01.514 Модуляционная неустойчивость электромагнитных волн на Марсе, связанная с пылевой звуковой модой. *Морозова Т.И., Попел С.И.* Физика плазмы. 2024. 50, № 7, с. 09.10

25.01-01.515 Функция плотности для модели земле-

подобной Венеры. *Новикова О.В., Тюменков Г.Ю.* Пробл. физ., мат. и техн. 2024, № 3(60), с. 23-26. Рус.

Проведено корректирующее моделирование функции плотности Венеры на основе модели PVM, предполагающей пятислойную внутреннюю структуру планеты. Получен аналитический и графический вид новых функций плотности для трёх физических правомерных приближений, обусловленных допустимыми изменениями размеров ядра и коры планеты.

25.01-01.516 Исследование оптимальных перелетов к Марсу с возвращением в атмосферу Земли с заданной скоростью. *Балашов В.В.* Учен. зап. ЦАГИ. 1970. 1, № 1, с. 82-91. Рус.

Рассмотрена задача оптимизации траекторий перелета к Марсу с возвращением в атмосферу Земли. Излагается методика расчета, основанная на введении пространственного годографа гелиоцентрических скоростей подлета к сфере влияния Земли, обеспечивающих вход в атмосферу Земли с заданной скоростью. Приведены результаты расчета оптимальных перелетов длительностью один-полтора года на период 1971–1988 гг.

25.01-01.517 О максимально допустимой нагрузке на лобовую поверхность аппаратов, осуществляющих аэродинамический спуск в атмосфере Марса. *Иванов Н.М., Мартынов А.И.* Учен. зап. ЦАГИ. 1970. 1, № 3, с. 105-109. Рус.

Рассмотрены некоторые вопросы аэродинамического спуска космических аппаратов в разреженной атмосфере Марса. Показано, что такой способ посадки для аппаратов, по крайней мере со средним значением приведенной нагрузки на лобовую поверхность $(P[x \text{ доп}])^{max} \approx 250-350 \text{ кгс/м}^2$, практически возможен только при выполнении двух основных условий: — на борту космического аппарата имеются автономные средства навигации; — спускаемый аппарат обладает хотя бы небольшой подъемной силой (аэродинамическое качество $K=0,3-0,4$).

25.01-01.518 Оптимальные одноимпульсные перелеты между сферой влияния планеты и орбитой ее искусственного спутника. *Ильин В.А., Истомин Н.А.* Учен. зап. ЦАГИ. 1970. 1, № 5, с. 118-122. Рус.

Рассмотрена задача определения одноимпульсных перелетов между сферой влияния планеты и эллиптической орбитой ее искусственного спутника (поле тяготения планеты принимается ньютоновским), обеспечивающих минимальную величину импульса перехода. Получено приближенное решение задачи в виде разложения параметра, характеризующего оптимальную точку перехода на орбите ИС, по степеням эксцентриситета орбиты ИС с точностью до членов второго порядка малости. Показано, что приближенное решение хорошо согласуется с точным до значений эксцентриситета 0,4–0,6.

25.01-01.519 Об одном алгоритме управления конечной скоростью спуска автоматических аппаратов в атмосфере Марса. *Иванов Н.М., Мартынов А.И.* Учен. зап. ЦАГИ. 1971. 2, № 5, с. 64-72. Рус.

Предложен простой алгоритм управления конечной скоростью спуска автоматических аппаратов в атмосфере Марса, реализующий минимум скорости на заданной конечной высоте. Управление вектором подъемной силы осуществляется путем изменения эффективного качества. Представлены численные результаты по оценке эффективности предлагаемого алгоритма для двух гипотетических спускаемых аппаратов, имеющих одинаковое значение располагаемого качества $K[\text{расп}]=0,3$, но разную величину приведенной нагрузки на лобовую поверхность: $P_x=80 \text{ кгс/м}^2$ и $P_x=250 \text{ кгс/м}^2$.

См. также **25.01-01.2К, 25.01-01.3К, 25.01-01.4К, 25.01-01.5К, 25.01-01.8, 25.01-01.9, 25.01-01.10, 25.01-01.11, 25.01-01.12, 25.01-01.17, 25.01-01.50, 25.01-01.315, 25.01-01.317, 25.01-01.416, 25.01-01.417, 25.01-01.418**

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Attia A. 25.01-01.138

В

Baghdali I. 25.01-01.138
 Benami A. 25.01-01.33
 Bourada F. 25.01-01.138
 Bourada M. 25.01-01.138
 Bousahla A.A. 25.01-01.138
 Bybi A. 25.01-01.33

Е

Elmaimouni L. 25.01-01.33

G

Gao J. 25.01-01.55
 Gorbovskoy V.S. 25.01-01.86
 Gusev V.A. 25.01-01.86

H

Heireche H. 25.01-01.138
 Huang X. 25.01-01.55

J

Jin C. 25.01-01.55

K

Karzova M.M. 25.01-01.22
 Khalfi H. 25.01-01.33
 Khechoyan Kh.S. 25.01-01.414
 Khokhlova V.A. 25.01-01.22
 Konnova E.O. 25.01-01.22
 Korunov A.O. 25.01-01.86

N

Naciri I. 25.01-01.33

P

Prabhakaran T. 25.01-01.139

R

Raghib R. 25.01-01.33
 Rubine L. 25.01-01.139

S

Selvamani R. 25.01-01.139

T

Tang T. 25.01-01.55
 Tounsi Abdeldjebbar 25.01-01.138
 Tounsi Abdelouahed 25.01-01.138

Y

Yaylaci M. 25.01-01.138, 25.01-01.139
 Yu J. 25.01-01.33
 Yuldashev P.V. 25.01-01.22

А

Абросимова Г.Е. 25.01-01.169
 Агаев Э.А. 25.01-01.144
 Агаева М.Ю. 25.01-01.391
 Агасян Н.О. 25.01-01.497
 Агафонов А.А. 25.01-01.104
 Агейкин Н.А. 25.01-01.148
 Акбулатов Э.Ш. 25.01-01.8
 Акимов А.Г. 25.01-01.360
 Акинъшин Р.В. 25.01-01.234,
 25.01-01.237
 Аксим Д.А. 25.01-01.425
 Алексеев Д.М. 25.01-01.67
 Алексеев И.И. 25.01-01.448
 Алексеев М.В. 25.01-01.94
 Алексеев С.Г. 25.01-01.154
 Алешкин В.М. 25.01-01.345
 Аллахвердизаде Р.А. 25.01-01.144
 Ампилогов Д.В. 25.01-01.26
 Андреев А.Ю. 25.01-01.14
 Андреева И.Г. 25.01-01.392
 Андреева С.В. 25.01-01.377
 Анисимкин В.А. 25.01-01.148
 Аннин Б.Д. 25.01-01.59
 Аносов А.А. 25.01-01.168,
 25.01-01.366, 25.01-01.367
 Антропов С.Ю. 25.01-01.429
 Арабаджи В.В. 25.01-01.96
 Артельный В.В. 25.01-01.205
 Артемьева К.В. 25.01-01.118
 Асафьев Н.О. 25.01-01.158
 Асеев Е.М. 25.01-01.399
 Асфандияров Ш.А. 25.01-01.108,
 25.01-01.170
 Афанасьев Л.В. 25.01-01.79,
 25.01-01.82
 Ахи А.В. 25.01-01.356
 Ахмедов Р.А. 25.01-01.144

Б

Бадмаев Б.Б. 25.01-01.116
 Базарова С.Б. 25.01-01.118
 Балаберников А.И. 25.01-01.488
 Балакирева Н.В. 25.01-01.47
 Балахненко А.Ю. 25.01-01.430
 Балашов В.В. 25.01-01.516
 Балдычев С.В. 25.01-01.407
 Бамби К. 25.01-01.496
 Банишев А.Ф. 25.01-01.410
 Баранов А.А. 25.01-01.507
 Бардаханов С.П. 25.01-01.290,
 25.01-01.294
 Баринов В.А. 25.01-01.277,
 25.01-01.279
 Барсуков А.Р. 25.01-01.178
 Баскин В.Э. 25.01-01.28
 Батанов В.В. 25.01-01.145
 Бахтин В.К. 25.01-01.34, 25.01-01.68
 Башкатов В.В. 25.01-01.227
 Бащенко Л.П. 25.01-01.93
 Безменов В.Я. 25.01-01.295
 Безменов И.В. 25.01-01.429
 Безруков И.А. 25.01-01.435
 Безручко Д.К. 25.01-01.104
 Беленькая Е.С. 25.01-01.448
 Беленьков Р.Н. 25.01-01.117
 Беликов Р.А. 25.01-01.357
 Белов В.Е. 25.01-01.257
 Белов И.А. 25.01-01.128
 Белов И.М. 25.01-01.330
 Белоненко Т.В. 25.01-01.210

Белопольская Л.Л. 25.01-01.289
 Белоцерковский О.М. 25.01-01.46
 Беляев Б.В. 25.01-01.403
 Беляев И.В. 25.01-01.209,
 25.01-01.222, 25.01-01.225,
 25.01-01.230, 25.01-01.273,
 25.01-01.275
 Беляев М.Ю. 25.01-01.454
 Беляев Р.В. 25.01-01.168,
 25.01-01.367
 Бердников А.С. 25.01-01.436
 Березовская О.В. 25.01-01.420
 Берестовский В.Н. 25.01-01.416,
 25.01-01.417
 Беспалько А.А. 25.01-01.404
 Бибииков Н.Г. 25.01-01.359,
 25.01-01.393, 25.01-01.395
 Бикмухаметов Ф.Р. 25.01-01.339
 Бирюкова М.А. 25.01-01.265
 Бобровницкий Ю.И. 25.01-01.166
 Богданова Е.В. 25.01-01.127
 Боджона С.Д. 25.01-01.183
 Бойко А.В. 25.01-01.39
 Болдырева О.Ю. 25.01-01.43
 Боровицкая И.В. 25.01-01.409
 Бородин Н.С. 25.01-01.386
 Бородин Ю.П. 25.01-01.406
 Бородина И.А. 25.01-01.29,
 25.01-01.147, 25.01-01.149,
 25.01-01.153
 Босняков И.С. 25.01-01.38
 Бражкин А.В. 25.01-01.275
 Брейтвейт В.К. 25.01-01.289
 Бритенков А.К. 25.01-01.161
 Брутян М.А. 25.01-01.261
 Буданов Н.С. 25.01-01.491
 Буланов А.В. 25.01-01.124
 Буланов В.А. 25.01-01.109
 Булатов В.В. 25.01-01.206
 Булкин В.В. 25.01-01.19
 Буравков С.В. 25.01-01.369
 Бурдуковская В.Г. 25.01-01.194
 Буренин А.В. 25.01-01.199
 Бурков С.И. 25.01-01.122,
 25.01-01.158, 25.01-01.160
 Бурховецкий В.В. 25.01-01.136
 Быков А.И. 25.01-01.322,
 25.01-01.323
 Бычков О.П. 25.01-01.222,
 25.01-01.224, 25.01-01.225,
 25.01-01.243, 25.01-01.268,
 25.01-01.273
 Бышевский-Конопко О.А. 25.01-01.27

В

Вайсбург Н.Я. 25.01-01.130
 Ванкевич Р.Е. 25.01-01.213,
 25.01-01.214
 Варелджан М.В. 25.01-01.106
 Васильев А.А. 25.01-01.164
 Васильев В.В. 25.01-01.435
 Васильев Г.С. 25.01-01.19
 Васильев Е.О. 25.01-01.339
 Васильев М.М. 25.01-01.40,
 25.01-01.135, 25.01-01.137
 Васильев Н.В. 25.01-01.330
 Василяк Л.М. 25.01-01.511
 Васькова В.С. 25.01-01.508
 Веденев А.И. 25.01-01.186
 Веденев В.Б. 25.01-01.279
 Ведешин Л.А. 25.01-01.458,
 25.01-01.467

- Верхлютов В.М. 25.01-01.386
Вилков Е.А. 25.01-01.27
Виноградов А.В. 25.01-01.51
Виноградова Н.А. 25.01-01.408
Винокуров Д.Л. 25.01-01.174
Вировлянский А.Л. 25.01-01.34,
25.01-01.193
Владимиров И.Ю. 25.01-01.206
Власов Е.В. 25.01-01.49,
25.01-01.216, 25.01-01.240,
25.01-01.241, 25.01-01.267,
25.01-01.271
Власова М.А. 25.01-01.266
Волк Г.М. 25.01-01.357
Волков А.В. 25.01-01.38
Волков Е.В. 25.01-01.506
Волков Н.А. 25.01-01.169
Волков С.М. 25.01-01.126
Волкова Н.В. 25.01-01.319
Володина Н.А. 25.01-01.262
Волченкова И.С. 25.01-01.346
Воронцов В.И. 25.01-01.234
Воронюк В. 25.01-01.487
Вострухов Н.А. 25.01-01.429
Вселенский А.А. 25.01-01.188
Вылежанин А.В. 25.01-01.435
Вышинский В.В. 25.01-01.286,
25.01-01.291
Вьюгинова А.А. 25.01-01.172
- ### Г
- Гаврилов Д.А. 25.01-01.441
Гаврилов Л.Р. 25.01-01.364
Гаврилов Н.В. 25.01-01.89
Гаврилов Н.М. 25.01-01.129
Гаврилюк В.С. 25.01-01.74
Гайдар А.И. 25.01-01.409
Галеева Л.Х. 25.01-01.110
Галиакбарова Э.В. 25.01-01.141
Галутин В.З. 25.01-01.357
Ганабов В.И. 25.01-01.296
Гарифуллин И.Р. 25.01-01.45
Гасанов А.Р. 25.01-01.144
Гасанов Р.А. 25.01-01.144
Гедьмин В.А. 25.01-01.277
Гедьшин В.А. 25.01-01.49
Генне Д.В. 25.01-01.178
Герасимов Г.В. 25.01-01.77,
25.01-01.78
Герасютин С.А. 25.01-01.458,
25.01-01.467, 25.01-01.468,
25.01-01.480
Гималтдинов И.К. 25.01-01.35,
25.01-01.65
Гиневский А.С. 25.01-01.241
Гладенко А.Ф. 25.01-01.32
Глазко Л.А. 25.01-01.339
Глазов М.М. 25.01-01.476
Глитко О.В. 25.01-01.213
Глушков Е.В. 25.01-01.114,
25.01-01.173, 25.01-01.371
Глушкова Н.В. 25.01-01.114,
25.01-01.173, 25.01-01.371
Говорова А.Ф. 25.01-01.447,
25.01-01.466, 25.01-01.483
Голованов Е.В. 25.01-01.159
Голованова А.В. 25.01-01.475,
25.01-01.484
Голованова Л.Е. 25.01-01.392
Головёнкин Е.Н. 25.01-01.9
Головин Д.В. 25.01-01.457
Голубев А.Ю. 25.01-01.326
Голубев В.И. 25.01-01.207,
25.01-01.310
- Голубева И.Ю. 25.01-01.387
Голубь А.П. 25.01-01.474
Гольх Р.Н. 25.01-01.178
Гончаренко В.И. 25.01-01.57
Гончаров А.Е. 25.01-01.211
Гопин А.В. 25.01-01.370
Горбачев И.А. 25.01-01.150
Горбовской В.С. 25.01-01.87,
25.01-01.247, 25.01-01.249,
25.01-01.274
Горбунова О.А. 25.01-01.121
Горбунцов И.Е. 25.01-01.205
Горный С.Г. 25.01-01.411,
25.01-01.412
Горовой С.В. 25.01-01.187,
25.01-01.358
Горшков А.Б. 25.01-01.6, 25.01-01.7
Горшков В.Л. 25.01-01.442
Грановский А.Ю. 25.01-01.93
Грановский Н.В. 25.01-01.168,
25.01-01.366, 25.01-01.367
Гренков С.А. 25.01-01.419,
25.01-01.436, 25.01-01.439
Григолюк Э.И. 25.01-01.278
Григорьев А.Г. 25.01-01.189
Григорьев В.А. 25.01-01.181,
25.01-01.182, 25.01-01.204
Григорьев Н.С. 25.01-01.250
Григорьев Ю.Н. 25.01-01.17
Гришко Д.А. 25.01-01.507
Громов В.Е. 25.01-01.93
Грудзинская И.С. 25.01-01.174
Губайдуллин А.А. 25.01-01.43
Губайдуллин Д.А. 25.01-01.62,
25.01-01.63
Гуданов И.С. 25.01-01.132
Гудименко А.И. 25.01-01.184
Гудкова Т.В. 25.01-01.445
Гулгенов Ч.Ж. 25.01-01.118
Гулевский И.В. 25.01-01.406
Гурбатов С.Н. 25.01-01.68
Гурьяшкин Л.П. 25.01-01.257
Гусев В.А. 25.01-01.67, 25.01-01.69,
25.01-01.71, 25.01-01.87
Гусева Е.К. 25.01-01.207,
25.01-01.310
Гусейнов А.Г. 25.01-01.144
- ### Д
- Д'Абрамо Д. 25.01-01.418
Давиденкова-Хмара Е.Ш.
25.01-01.349, 25.01-01.350
Давыдов Ю.М. 25.01-01.46
Дамдинов Б.Б. 25.01-01.113
Данилова Н.В. 25.01-01.369
Данн Д.Д. 25.01-01.404
Даринский А.Н. 25.01-01.151,
25.01-01.152
Дацук Е.Р. 25.01-01.120
Дежкунов Н.В. 25.01-01.74,
25.01-01.370
Дежкунов Т.А. 25.01-01.74
Дембелова Т.С. 25.01-01.116
Демин А.С. 25.01-01.409
Демьянко К.В. 25.01-01.39
Демьянов М.А. 25.01-01.231
Денисов С.Л. 25.01-01.226,
25.01-01.237
Дерябин М.С. 25.01-01.34,
25.01-01.68
Диденкулов И.Н. 25.01-01.16,
25.01-01.97
Дмитриев В.Т. 25.01-01.385
Дмитриев К.В. 25.01-01.186
- Дмитриев С.В. 25.01-01.164,
25.01-01.405
Добренская М.В. 25.01-01.482
Добрынин В.А. 25.01-01.218
Довгаль А.В. 25.01-01.290
Додонов С.Н. 25.01-01.443
Долгов А.Д. 25.01-01.501
Доркин С.М. 25.01-01.488
Дракон А.В. 25.01-01.77, 25.01-01.78
Дричко И.Л. 25.01-01.119
Дроздов А.Э. 25.01-01.429
Дубовик А.В. 25.01-01.263
Дудко Д.Н. 25.01-01.43
Дынникова Г.Я. 25.01-01.75
Дьяконов Е.А. 25.01-01.177
Дьяченко С.В. 25.01-01.162
Дьяченко Т.А. 25.01-01.136
- ### Е
- Евдокимов А.А. 25.01-01.106
Егерев С.В. 25.01-01.413
Егорова М.А. 25.01-01.360,
25.01-01.362
Елисеев А.В. 25.01-01.335
Епифанов В.П. 25.01-01.207
Ерастов А.В. 25.01-01.262
Ереза А.Г. 25.01-01.297
Еремин А.А. 25.01-01.106,
25.01-01.173
Еремин А.В. 25.01-01.77, 25.01-01.78
Ерманюк Е.В. 25.01-01.89
Ермолаев Ю.Г. 25.01-01.79,
25.01-01.82, 25.01-01.302
Ермоленко О.А. 25.01-01.371
Ерофеев А.В. 25.01-01.168,
25.01-01.366, 25.01-01.367
Ерофеев В.И. 25.01-01.163
Ершов И.В. 25.01-01.17
Есипов И.Б. 25.01-01.66, 25.01-01.70,
25.01-01.76
Ефимов Д.Ю. 25.01-01.23,
25.01-01.98
Ефимцов Б.М. 25.01-01.307
- ### Ж
- Жарков Д.А. 25.01-01.131,
25.01-01.311
Жаров В.Е. 25.01-01.429
Желдак Д.А. 25.01-01.424
Жеребцов О.М. 25.01-01.491
Жигулев С.В. 25.01-01.299
Жилин Ю.Л. 25.01-01.251,
25.01-01.252, 25.01-01.255,
25.01-01.256, 25.01-01.260
Жмур В.В. 25.01-01.210
Жостков Р.А. 25.01-01.131,
25.01-01.311
Жуков Н.В. 25.01-01.412
Жулев Ю.Г. 25.01-01.288
- ### З
- Забусов П.В. 25.01-01.262
Заворохин Г.Л. 25.01-01.184
Заговорич А.Д. 25.01-01.125
Зайнутдинова Д.А. 25.01-01.121
Зайцев Б.Д. 25.01-01.29,
25.01-01.147, 25.01-01.149,
25.01-01.153
Зайцева С.Г. 25.01-01.205
Закиров М.Н. 25.01-01.220,
25.01-01.353
Закутняя О.В. 25.01-01.11

- Замтфорт В.С. 25.01-01.230
Заринов Р.Р. 25.01-01.62, 25.01-01.63
Заринов Ф.А. 25.01-01.110
Зарубин Д.С. 25.01-01.453,
25.01-01.473
Засько Г.В. 25.01-01.39
Захаренко А.Д. 25.01-01.184
Захаров А.Ф. 25.01-01.486,
25.01-01.495
Захаров Д.Д. 25.01-01.115
Захаров П.В. 25.01-01.90, 25.01-01.92
Захаров С.Б. 25.01-01.161
Зверев А.Я. 25.01-01.232
Зелёный Л.М. 25.01-01.444,
25.01-01.452, 25.01-01.462,
25.01-01.472, 25.01-01.473,
25.01-01.474, 25.01-01.476
Зенков С.Г. 25.01-01.330
Зобнин А.В. 25.01-01.455
Зосимов А.В. 25.01-01.289,
25.01-01.300
Зотов А.С. 25.01-01.274
- И**
- Ибрагимов У.Г. 25.01-01.261
Иванов А.М. 25.01-01.130,
25.01-01.143
Иванов А.Н. 25.01-01.83
Иванов Н.М. 25.01-01.517,
25.01-01.519
Иванов С.Г. 25.01-01.507
Иванова О.А. 25.01-01.456
Иванушкин И.С. 25.01-01.400
Игнатенко И.Ю. 25.01-01.429
Игнатъев С.Г. 25.01-01.305
Иголкин А.А. 25.01-01.50
Илларионов В.Ф. 25.01-01.284,
25.01-01.316
Ильин В.А. 25.01-01.518
Ильяшенко А.В. 25.01-01.21
Иноземцева А.В. 25.01-01.475,
25.01-01.484
Иовлева О.В. 25.01-01.30
Ипатов А.В. 25.01-01.458,
25.01-01.467
Ипатов М.С. 25.01-01.226
Исаенко А.В. 25.01-01.436
Истомин Н.А. 25.01-01.518
- К**
- Кадрев А.В. 25.01-01.369
Кажан А.В. 25.01-01.225,
25.01-01.272, 25.01-01.274
Казанский А.С. 25.01-01.168
Казарова А.Ю. 25.01-01.34,
25.01-01.193
Калегаев В.В. 25.01-01.448
Каленова В.И. 25.01-01.512
Калью В.А. 25.01-01.212
Калюжная И.Ю. 25.01-01.318
Калябин Д.В. 25.01-01.27
Канев Н.Г. 25.01-01.318,
25.01-01.328, 25.01-01.344,
25.01-01.346, 25.01-01.348
Каплунов И.А. 25.01-01.130,
25.01-01.143
Капранов И.Е. 25.01-01.42
Капранова А.Б. 25.01-01.132
Каптарь Л.П. 25.01-01.488
Караваева В.Г. 25.01-01.377
Караваев Р.К. 25.01-01.49,
25.01-01.216, 25.01-01.267
Каракозова А.И. 25.01-01.140
Карцова М.М. 25.01-01.72,
25.01-01.102, 25.01-01.365,
25.01-01.368, 25.01-01.369
Каримова Г.Р. 25.01-01.141
Карнаухова Л.С. 25.01-01.323
Карпенко В.В. 25.01-01.36
Карпов И.А. 25.01-01.165
Карпович Е.А. 25.01-01.449
Карра Ж.Б. 25.01-01.178
Карцев И.С. 25.01-01.456
Карякин М.Ю. 25.01-01.242
Каспарова Е.А. 25.01-01.64
Касьянов Д.А. 25.01-01.68
Катасонов М.М. 25.01-01.239
Катин И.О. 25.01-01.358
Качанов Ю.С. 25.01-01.290
Кашин В.В. 25.01-01.159
Кашинский О.Н. 25.01-01.94
Кашковский А.В. 25.01-01.41
Каюмов Р.А. 25.01-01.44
Квашенникова А.В. 25.01-01.70,
25.01-01.76, 25.01-01.369
Квон А.З. 25.01-01.89
Кедров А.В. 25.01-01.316
Кедрова Г.Е. 25.01-01.375
Кирпичников В.Ю. 25.01-01.51,
25.01-01.52, 25.01-01.332,
25.01-01.333, 25.01-01.337
Кирюхина М.Н. 25.01-01.262
Клешнев Е.А. 25.01-01.381
Климачков Д.А. 25.01-01.317
Клишова Е.А. 25.01-01.392
Клячин Б.И. 25.01-01.192
Клячкин А.В. 25.01-01.329
Князева К.С. 25.01-01.101
Ковалёв Ю.М. 25.01-01.265
Коваленко В.В. 25.01-01.260
Кожарин Н.Ю. 25.01-01.111
Кожемяченко А.А. 25.01-01.313
Козлов В.В. 25.01-01.239,
25.01-01.290, 25.01-01.294
Козлов Г.А. 25.01-01.504
Козубняк С.А. 25.01-01.54
Козырев А.С. 25.01-01.457
Койгеров А.С. 25.01-01.146
Кокшайский А.И. 25.01-01.73
Колдунов С.А. 25.01-01.264
Колесников И.Д. 25.01-01.405
Колесов В.В. 25.01-01.150,
25.01-01.159
Колокольцев В.Н. 25.01-01.409
Коломейцев Е.Э. 25.01-01.487
Коломоец Н.В. 25.01-01.487
Колтон Г.А. 25.01-01.36
Кольцов Н.Е. 25.01-01.439
Комаровский К.О. 25.01-01.71
Комбаев Т.Ш. 25.01-01.449
Комкин А.И. 25.01-01.318,
25.01-01.322, 25.01-01.323,
25.01-01.324, 25.01-01.328
Коннова Е.О. 25.01-01.102,
25.01-01.103
Коновалов В.Н. 25.01-01.179,
25.01-01.189
Коновалов С.И. 25.01-01.248
Киноплева Н.П. 25.01-01.12
Копьев В.Ф. 25.01-01.209,
25.01-01.222, 25.01-01.228,
25.01-01.229, 25.01-01.234,
25.01-01.235, 25.01-01.237,
25.01-01.244, 25.01-01.273
Корнеевец А.С. 25.01-01.136
Коробов А.А. 25.01-01.244
Коробов А.И. 25.01-01.73,
25.01-01.104
Коровкин А.Г. 25.01-01.326
Корольков А.И. 25.01-01.48
Корольков З.А. 25.01-01.179,
25.01-01.189
Корогин П.И. 25.01-01.16,
25.01-01.205
Корунов А.О. 25.01-01.87,
25.01-01.249
Косарев О.И. 25.01-01.99
Косенко И.М. 25.01-01.180,
25.01-01.200
Косинов А.Д. 25.01-01.79,
25.01-01.81, 25.01-01.82,
25.01-01.302
Космодамианский Г.А. 25.01-01.424,
25.01-01.425
Костив А.Е. 25.01-01.355
Костин Г.В. 25.01-01.61
Котвицкий А.Я. 25.01-01.268
Котельникова Л.М. 25.01-01.107,
25.01-01.171, 25.01-01.365
Коцюрбенко О.Р. 25.01-01.466
Кочетов О.Ю. 25.01-01.186
Коэн-Таннудж Ж. 25.01-01.492
Кравчун П.Н. 25.01-01.341
Красавин Е.Э. 25.01-01.20
Красиков С.Д. 25.01-01.339
Красикова М.В. 25.01-01.339
Красильщиков А.П. 25.01-01.257
Красненко Н.П. 25.01-01.219,
25.01-01.221
Красников Н.В. 25.01-01.500
Краснописцев Н.В. 25.01-01.212
Красоткин С.А. 25.01-01.510
Крашенинников С.Ю. 25.01-01.223
Крохмаль А.А. 25.01-01.363
Кудрявцев А.Н. 25.01-01.41
Кудрявцева А.В. 25.01-01.420
Кузмак Г.Е. 25.01-01.276
Кузнецов А.В. 25.01-01.50
Кузнецов В.В. 25.01-01.326,
25.01-01.434
Кузнецов В.М. 25.01-01.285
Кузнецов Г.Н. 25.01-01.327
Кузнецов Е.Б. 25.01-01.278
Кузнецов Е.Н. 25.01-01.269,
25.01-01.286, 25.01-01.291
Кузнецов М.С. 25.01-01.158
Кузнецов Н.К. 25.01-01.335
Кузнецов С.В. 25.01-01.64
Кузнецова И.Е. 25.01-01.120,
25.01-01.150, 25.01-01.155,
25.01-01.156
Кузнецова Т.Г. 25.01-01.387
Кузькин В.М. 25.01-01.180,
25.01-01.200, 25.01-01.201
Кузьменко П.А. 25.01-01.319
Кузьмина Н.В. 25.01-01.438
Куклин М.В. 25.01-01.336
Куличков С.Н. 25.01-01.217,
25.01-01.220, 25.01-01.353
Куражова А.В. 25.01-01.380
Курдубов С.Л. 25.01-01.437
Курдюмов А.С. 25.01-01.94,
25.01-01.126
Курдяева Ю.А. 25.01-01.129
Курилов И.А. 25.01-01.19
Курилова-Харчук С.М. 25.01-01.19
Курьянова И.В. 25.01-01.376
Кутузов Н.А. 25.01-01.320
Кшевевский С.П. 25.01-01.129
- Л**
- Лабутина О.В. 25.01-01.389

Лаврухин Г.Н. 25.01-01.271,
25.01-01.274
Ладонкина М.Е. 25.01-01.37
Ладыкин Н.В. 25.01-01.201
Лазарев Л.А. 25.01-01.232
Лаптев А.Ю. 25.01-01.48
Лапшин Д.Н. 25.01-01.354,
25.01-01.396
Ларионов В.М. 25.01-01.30
Ларионова И.В. 25.01-01.30
Ларичев В.А. 25.01-01.179,
25.01-01.188, 25.01-01.189
Лбов А.А. 25.01-01.172
Лебедев А.В. 25.01-01.312
Лебедев А.Е. 25.01-01.132
Лебедев А.С. 25.01-01.403
Лебедева М.А. 25.01-01.426
Лебедева О.В. 25.01-01.277,
25.01-01.288, 25.01-01.293
Левин В.М. 25.01-01.176
Леонтьев Е.А. 25.01-01.31,
25.01-01.32
Лепихин С.А. 25.01-01.35
Лесик Н.П. 25.01-01.220
Лесонен Д.Н. 25.01-01.179,
25.01-01.188, 25.01-01.189
Летягин П.И. 25.01-01.372
Либанов М.В. 25.01-01.476
Лившиц А.Я. 25.01-01.342
Липаев А.М. 25.01-01.455
Лисин А.А. 25.01-01.198
Лисов И.А. 25.01-01.478
Литвак М.Л. 25.01-01.457
Литвинов В.М. 25.01-01.128,
25.01-01.242, 25.01-01.270
Лифшиц Ю.Б. 25.01-01.304,
25.01-01.305, 25.01-01.306
Ло Ц. 25.01-01.404
Лобанов А.А. 25.01-01.213,
25.01-01.214
Лобанов П.Д. 25.01-01.94,
25.01-01.126
Лопатин А.В. 25.01-01.13
Лосев Г.И. 25.01-01.212
Лузанов В.А. 25.01-01.154
Лукашов М.С. 25.01-01.497
Лукашова М.В. 25.01-01.424,
25.01-01.425
Лукьянов А.А. 25.01-01.94
Луньков А.А. 25.01-01.182,
25.01-01.183, 25.01-01.186,
25.01-01.195
Лупанова А.С. 25.01-01.361
Луценко И.С. 25.01-01.92
Лучинин А.Г. 25.01-01.16
Лысенков А.В. 25.01-01.274
Львов К.П. 25.01-01.191
Лэй Ц. 25.01-01.88
Лю Ц. 25.01-01.88
Ляксо Е.Е. 25.01-01.381,
25.01-01.382, 25.01-01.387
Лялинов М.А. 25.01-01.203

М

Магарян К.А. 25.01-01.475,
25.01-01.484
Мазуров А.П. 25.01-01.274
Майкапар Г.И. 25.01-01.84
Макаренко Т.М. 25.01-01.240,
25.01-01.241
Максимов Г.А. 25.01-01.123,
25.01-01.179, 25.01-01.188,
25.01-01.189
Макушевич И.В. 25.01-01.359

Малахов А.О. 25.01-01.30
Малашевский С.А. 25.01-01.274
Малеханов А.И. 25.01-01.16,
25.01-01.196, 25.01-01.197,
25.01-01.198
Мальков П.Г. 25.01-01.369
Мальцев В.В. 25.01-01.97
Маляренко Н.Л. 25.01-01.208
Манакон С.А. 25.01-01.312
Мансфельд А.Д. 25.01-01.168,
25.01-01.366, 25.01-01.367
Маняхин И.А. 25.01-01.178
Марголина И.Л. 25.01-01.318
Маркеев А.П. 25.01-01.60
Маркидонов А.В. 25.01-01.92
Мартынов А.И. 25.01-01.517,
25.01-01.519
Марчук В.Н. 25.01-01.509
Маршалов Д.А. 25.01-01.419,
25.01-01.436, 25.01-01.439
Масляев С.А. 25.01-01.409
Матасова О.Ю. 25.01-01.322
Матвиенко Ю.В. 25.01-01.180
Матяш А.В. 25.01-01.274
Мацковский А.А. 25.01-01.184
Машанов А.Н. 25.01-01.116
Медведев И.С. 25.01-01.390
Медведев Н.Н. 25.01-01.90
Медведев С.Ю. 25.01-01.433
Медведев Ю.Д. 25.01-01.427
Мейерович Б.Э. 25.01-01.493
Мелентьев В.В. 25.01-01.117
Мельник Г.Э. 25.01-01.428
Мельцер А.М. 25.01-01.132
Меняйлов М.А. 25.01-01.261
Мерекин Д.В. 25.01-01.271
Мершина Е.А. 25.01-01.364
Мещеряков Р.В. 25.01-01.383
Микеладзе В.Г. 25.01-01.297
Микушев В.М. 25.01-01.125,
25.01-01.134
Милехина О.Н. 25.01-01.388
Милешин В.И. 25.01-01.236
Минаков В.Д. 25.01-01.178
Минаццоли О. 25.01-01.503
Минчук В.С. 25.01-01.74
Мирза Б. 25.01-01.494
Миронов А.С. 25.01-01.335
Миронов М.А. 25.01-01.100,
25.01-01.112, 25.01-01.209
Миронова Н.И. 25.01-01.375
Миронюк И.Ю. 25.01-01.224
Мирошник Р.А. 25.01-01.58
Митрофанов И.Г. 25.01-01.457
Михайлов А.Г. 25.01-01.419,
25.01-01.436
Михайлов С.Б. 25.01-01.411,
25.01-01.412
Михалев Е.С. 25.01-01.73
Михеева Е.Ю. 25.01-01.77,
25.01-01.78
Мишагин К.Г. 25.01-01.433
Мишенин А.А. 25.01-01.220,
25.01-01.353
Мовсесян П.В. 25.01-01.442
Могилевский М.М. 25.01-01.135,
25.01-01.137
Мозжердва Н.А. 25.01-01.308
Мозольков А.С. 25.01-01.279
Мокроусов М.И. 25.01-01.457
Молчанов С.В. 25.01-01.143
Монахов Р.Ю. 25.01-01.42
Моралев И.А. 25.01-01.268
Моргунов Ю.Н. 25.01-01.199
Морозов В.М. 25.01-01.512

Морозов Е.В. 25.01-01.409
Морозова О.Н. 25.01-01.377
Морозова Т.И. 25.01-01.315,
25.01-01.459, 25.01-01.474,
25.01-01.514
Мороков Е.С. 25.01-01.176
Мочалова В.М. 25.01-01.264
Муниин А.Г. 25.01-01.31, 25.01-01.285,
25.01-01.288, 25.01-01.296,
25.01-01.297, 25.01-01.298
Муравьев Я.А. 25.01-01.339
Мусаева Р.Н. 25.01-01.324
Мухамедова И.З. 25.01-01.44

Н

Назаренко Ю.В. 25.01-01.195
Назаров В.П. 25.01-01.9
Назаров Л.Е. 25.01-01.145
Наквасин А.Ю. 25.01-01.250
Налимова Т.Г. 25.01-01.319
Нарайкин О.С. 25.01-01.54
Нартов Ф.А. 25.01-01.72
Науменко Н. 25.01-01.293
Наумов А.В. 25.01-01.475,
25.01-01.484
Невенчанная Т.О. 25.01-01.325
Невский С.А. 25.01-01.93
Недоспасов И.А. 25.01-01.156,
25.01-01.157
Некрасов В.А. 25.01-01.334
Некрасов В.Н. 25.01-01.212
Нефёдов Д.Ю. 25.01-01.125
Нечаев А.А. 25.01-01.342
Нечаев Д.И. 25.01-01.388
Нечаева О.Е. 25.01-01.421,
25.01-01.422
Нечепуренко Ю.М. 25.01-01.39
Ни А.Л. 25.01-01.56
Никитин А.Д. 25.01-01.115
Никитин Д.А. 25.01-01.215
Никитин И.С. 25.01-01.115
Никитов С.А. 25.01-01.27,
25.01-01.154
Никитушкина О.Н. 25.01-01.408
Никитченко Ю.А. 25.01-01.20
Николаев А.Л. 25.01-01.370
Николаев А.С. 25.01-01.382
Николаенко Ю.М. 25.01-01.136
Новик А.А. 25.01-01.172
Новиков М.П. 25.01-01.245,
25.01-01.250
Новикова О.В. 25.01-01.515
Новоселова Е.В. 25.01-01.210
Норкин М.С. 25.01-01.205
Носырев И.П. 25.01-01.294

О

Огородникова Е.А. 25.01-01.389,
25.01-01.390
Одина Н.И. 25.01-01.73, 25.01-01.104
Одинцов М.Б. 25.01-01.122
Окунев В.Д. 25.01-01.136
Олейников М.И. 25.01-01.443
Остапенко В.В. 25.01-01.37
Острейко О.В. 25.01-01.366
Остриков Н.Н. 25.01-01.226,
25.01-01.227, 25.01-01.237
Ощепков И.А. 25.01-01.428

П

Павлов Г.И. 25.01-01.110,
25.01-01.111

Павлов Д.А. 25.01-01.425
Павлов И.С. 25.01-01.163,
25.01-01.164
Павлов С.Р. 25.01-01.427
Павлюк А.С. 25.01-01.339
Пак С.П. 25.01-01.389, 25.01-01.390
Паничева Е.Д. 25.01-01.215
Панов К.Н. 25.01-01.262
Паликян Л.А. 25.01-01.368,
25.01-01.369
Папкова А.С. 25.01-01.202
Папкова Ю.И. 25.01-01.202
Папроцкий С.К. 25.01-01.159
Парийская Е.Ю. 25.01-01.424
Пасынок С.Л. 25.01-01.429
Пеков А.Н. 25.01-01.457
Пережелкин В.Г. 25.01-01.217
Переселков С.А. 25.01-01.180,
25.01-01.200, 25.01-01.201
Перетоккин А.В. 25.01-01.346,
25.01-01.347
Перхняк А.Н. 25.01-01.481
Перхунова А.Ю. 25.01-01.74
Пестерев И.С. 25.01-01.142
Пестова П.А. 25.01-01.365,
25.01-01.368, 25.01-01.369
Петников В.Г. 25.01-01.183,
25.01-01.195
Петров А.А. 25.01-01.337
Петров А.Г. 25.01-01.229
Петров Д.В. 25.01-01.265
Петров И.Б. 25.01-01.207,
25.01-01.310, 25.01-01.313
Петров О.Ф. 25.01-01.135,
25.01-01.137
Петров П.С. 25.01-01.184
Петров С.Д. 25.01-01.440,
25.01-01.442
Петрова В.В. 25.01-01.212
Петропавловская Е.А. 25.01-01.372
Петросян А.С. 25.01-01.317
Петрукович А.А. 25.01-01.453,
25.01-01.473
Петрусев А.С. 25.01-01.401
Петрухин А.А. 25.01-01.446
Пигарев И.Н. 25.01-01.359,
25.01-01.393
Пилипенко А.А. 25.01-01.300
Пименов В.Н. 25.01-01.409
Писарев С.В. 25.01-01.195
Питеримова М.В. 25.01-01.302
Пиунов В.Ю. 25.01-01.9
Плетнев О.Н. 25.01-01.160
Поддубный В.В. 25.01-01.258
Поздеев Д.А. 25.01-01.339
Покровский Ю.Е. 25.01-01.490
Ползикова Н.И. 25.01-01.154
Поликанова В.А. 25.01-01.385
Поликарпова Н.В. 25.01-01.177
Поляков В.В. 25.01-01.282
Полянская С.В. 25.01-01.203
Полянский О.Ю. 25.01-01.85
Померанцев Н.Д. 25.01-01.378
Пономарчук Е.М. 25.01-01.369
Попадъев В.В. 25.01-01.423
Попел С.И. 25.01-01.514
Попель С.И. 25.01-01.315,
25.01-01.474
Попков С.В. 25.01-01.331
Попов В.А. 25.01-01.276
Попов О.Е. 25.01-01.217,
25.01-01.220, 25.01-01.353
Попов П.А. 25.01-01.301
Попов Ю.Н. 25.01-01.24, 25.01-01.25
Попович К.Ф. 25.01-01.271

Потапов А.В. 25.01-01.250
Потапов В.В. 25.01-01.376
Потапов Ю.Ф. 25.01-01.288
Потапова Р.К. 25.01-01.376
Потекаев А.И. 25.01-01.219
Преснов Д.А. 25.01-01.186,
25.01-01.309
Прибатурич Н.А. 25.01-01.126
Пригожих В.А. 25.01-01.113
Принцев Б.К. 25.01-01.277
Прись Ф.И. 25.01-01.415
Прозоров А.Г. 25.01-01.298
Прончатов-Рубцов Н.В. 25.01-01.97
Пугачев С.И. 25.01-01.175
Пузакина А.К. 25.01-01.99
Пузынин И. 25.01-01.485
Пузынина Т. 25.01-01.485
Пузырев В.М. 25.01-01.282
Пушурёв П.Д. 25.01-01.157
Пятаков П.А. 25.01-01.100,
25.01-01.112

Р

Раевский А.О. 25.01-01.154
Раевский М.А. 25.01-01.194
Раков А.С. 25.01-01.221
Рапота Д.Ю. 25.01-01.264
Рахимов И.А. 25.01-01.436
Рахронов С.С. 25.01-01.423
Рачвал Л. 25.01-01.502
Рачков В.Д. 25.01-01.430
Ревенок М.А. 25.01-01.167
Реут В.Р. 25.01-01.146
Римская-Корсакова Л.К. 25.01-01.318,
25.01-01.328
Родионов А.А. 25.01-01.42,
25.01-01.213, 25.01-01.214,
25.01-01.215, 25.01-01.320
Рожков В. 25.01-01.505
Романенко Г.А. 25.01-01.327
Россихин А.А. 25.01-01.236
Рочев А.М. 25.01-01.125,
25.01-01.134
Рублёва Ф.Б. 25.01-01.481
Рудаков А.И. 25.01-01.259
Рыбаков И.А. 25.01-01.221
Рыбьянец А.Н. 25.01-01.171,
25.01-01.365
Рыжков А.В. 25.01-01.433
Рыжов О.С. 25.01-01.56
Рытов Е.Ю. 25.01-01.175
Рябов В.А. 25.01-01.394
Рябцева Л.В. 25.01-01.479

С

Савельев А.А. 25.01-01.274
Савенко В.В. 25.01-01.51,
25.01-01.52, 25.01-01.331,
25.01-01.332, 25.01-01.338
Савицкий О.А. 25.01-01.100,
25.01-01.112, 25.01-01.123
Садеги Ф. 25.01-01.494
Садовская О.В. 25.01-01.59
Садовский В.М. 25.01-01.59
Садовский И.А. 25.01-01.239
Садыхов А.М. 25.01-01.510
Сажина О.С. 25.01-01.464
Саликова Д.А. 25.01-01.372
Сальников А.И. 25.01-01.435
Сальцберг А.В. 25.01-01.421,
25.01-01.422
Саматов А.А. 25.01-01.402
Самойленко З.А. 25.01-01.136

Самойлов Р.М. 25.01-01.491
Самохин В.Ф. 25.01-01.216,
25.01-01.271, 25.01-01.272,
25.01-01.287
Санин А.Г. 25.01-01.367
Сапожников О.А. 25.01-01.107,
25.01-01.108, 25.01-01.170,
25.01-01.171, 25.01-01.364,
25.01-01.365, 25.01-01.402
Саранцев А.В. 25.01-01.370
Сарычев В.Д. 25.01-01.93
Сафин А.И. 25.01-01.50
Сахаров Б.А. 25.01-01.433
Сахно И.В. 25.01-01.441
Светлов В.В. 25.01-01.233
Светоносков А.И. 25.01-01.126
Свешников М.Л. 25.01-01.424
Свирский О.В. 25.01-01.266
Свищев Г.П. 25.01-01.15,
25.01-01.128, 25.01-01.290
Семёнов А.П. 25.01-01.29,
25.01-01.147, 25.01-01.149,
25.01-01.153
Семенов В.А. 25.01-01.353
Семёнов Н.В. 25.01-01.79
Семенов Н.В. 25.01-01.81,
25.01-01.82, 25.01-01.302
Семенова Е.В. 25.01-01.30
Сергеева М.С. 25.01-01.76
Сердюк Д.О. 25.01-01.53
Серебров А.П. 25.01-01.491
Серов А.Ю. 25.01-01.134
Сидоров Д.Д. 25.01-01.182,
25.01-01.183, 25.01-01.195
Силенко А.Я. 25.01-01.499
Сильченко О.К. 25.01-01.463
Симаков И.Г. 25.01-01.118
Симаков С.В. 25.01-01.408
Симонов О.А. 25.01-01.290
Симонов Ю.А. 25.01-01.497
Синицын В.Е. 25.01-01.364
Скрипниченко В.И. 25.01-01.424,
25.01-01.425
Скурьюгин Е.Ф. 25.01-01.132
Славнов Д.А. 25.01-01.489
Смирнов А.В. 25.01-01.120,
25.01-01.148, 25.01-01.150,
25.01-01.155, 25.01-01.156,
25.01-01.196, 25.01-01.197
Смирнов В.А. 25.01-01.179,
25.01-01.189
Смирнов Д.А. 25.01-01.212
Смирнов Е.Б. 25.01-01.265
Смирнов И.Ю. 25.01-01.119
Смирнов С.С. 25.01-01.440
Смирнова Г.М. 25.01-01.420
Смольников В.Ю. 25.01-01.51,
25.01-01.332
Смородский Б.В. 25.01-01.302
Сназин А.А. 25.01-01.80
Собисевич А.Л. 25.01-01.309
Соболев А.Ф. 25.01-01.292
Соколов К.Б. 25.01-01.253
Соловьёв А.А. 25.01-01.469
Соловьёв В.А. 25.01-01.190
Соломонов Ю.В. 25.01-01.468
Солонцов О.В. 25.01-01.364
Сорокин А.Г. 25.01-01.218
Сорокин Б.П. 25.01-01.158
Сорокин В.Н. 25.01-01.374
Сорокин Ф.Д. 25.01-01.54
Сорокина А.А. 25.01-01.272
Сосиков В.А. 25.01-01.264
Спирин Д.В. 25.01-01.366
Старостенков М.Д. 25.01-01.90,

25.01-01.92

Степаненко А.Н. 25.01-01.250
 Степанов Б.Г. 25.01-01.142
 Стерлин А.Я. 25.01-01.400
 Столбов М.Б. 25.01-01.384
 Столяров Е.П. 25.01-01.283,
 25.01-01.297
 Столярова Э.И. 25.01-01.379
 Студеникин А. 25.01-01.498
 Стукало А.А. 25.01-01.345
 Стуленков А.В. 25.01-01.205
 Субботкин А.О. 25.01-01.105,
 25.01-01.321, 25.01-01.327,
 25.01-01.345
 Суворов А.С. 25.01-01.47,
 25.01-01.205
 Суетин Б.П. 25.01-01.210
 Султанов Л.У. 25.01-01.45
 Супин А.Я. 25.01-01.388
 Сурдутович Е.А. 25.01-01.398
 Сурикова И.М. 25.01-01.257
 Суркис И.Ф. 25.01-01.441
 Сысоев Е.И. 25.01-01.162
 Сысоева М.О. 25.01-01.90
 Сычев А.В. 25.01-01.117
 Сычев М.М. 25.01-01.162
 Сятковский А.И. 25.01-01.52

Т

Таганов Г.И. 25.01-01.254
 Тазиев Р.М. 25.01-01.91
 Тазюков Б.Ф. 25.01-01.44
 Талачев Е.В. 25.01-01.327
 Тарасов С.М. 25.01-01.438
 Теляшов Д.А. 25.01-01.121
 Теплых А.А. 25.01-01.29,
 25.01-01.147, 25.01-01.149,
 25.01-01.153
 Терехов В.В. 25.01-01.40
 Теряев О.В. 25.01-01.487
 Тимофеев Е.Б. 25.01-01.289
 Тиссен В.М. 25.01-01.430,
 25.01-01.431
 Титарев В.А. 25.01-01.234,
 25.01-01.237
 Титова В.Б. 25.01-01.262
 Тихонов А.А. 25.01-01.512
 Тишкин В.Ф. 25.01-01.37
 Ткаченко С.А. 25.01-01.180,
 25.01-01.200, 25.01-01.201
 Толстиков А.С. 25.01-01.431
 Толстой А.Л. 25.01-01.427
 Томозова М.С. 25.01-01.388
 Топоров А.В. 25.01-01.298
 Торопчина Л.В. 25.01-01.397
 Торунов С.И. 25.01-01.264
 Травин Р.В. 25.01-01.161
 Третьяков В.И. 25.01-01.457
 Третьяков С.А. 25.01-01.130,
 25.01-01.143
 Троицкий С. 25.01-01.505
 Трофимов Д.А. 25.01-01.440,
 25.01-01.442
 Трухачев Ф.М. 25.01-01.135,
 25.01-01.137
 Тугазаков Р.Я. 25.01-01.246
 Турчин В.И. 25.01-01.122,
 25.01-01.160
 Турчин П.П. 25.01-01.122,
 25.01-01.160
 Тухлиев З. 25.01-01.485
 Тюменков Г.Ю. 25.01-01.515
 Тюрин А.С. 25.01-01.321,
 25.01-01.327

У

Углов А.Л. 25.01-01.95
 Урвачев Е.М. 25.01-01.513
 Урунова Р.М. 25.01-01.437
 Усачев А.Д. 25.01-01.455
 Устинов А.Б. 25.01-01.419,
 25.01-01.436
 Устинов М.В. 25.01-01.303
 Уткин А.В. 25.01-01.264
 Уханова Л.Н. 25.01-01.300

Ф

Фаворская А.В. 25.01-01.313
 Фадеев А.С. 25.01-01.346,
 25.01-01.348
 Фараносов Г.А. 25.01-01.222,
 25.01-01.224, 25.01-01.225,
 25.01-01.229, 25.01-01.234,
 25.01-01.237, 25.01-01.243,
 25.01-01.244, 25.01-01.273
 Фарфель В.А. 25.01-01.161
 Фатьянов А.Г. 25.01-01.314
 Федоров А.В. 25.01-01.299
 Федоров Ю.В. 25.01-01.63
 Федотов В.Н. 25.01-01.429
 Федотов Л.В. 25.01-01.419,
 25.01-01.436, 25.01-01.439
 Федотов П.И. 25.01-01.404
 Фельдман Д.М. 25.01-01.10
 Фикс Г.Е. 25.01-01.340
 Фикс И.Ш. 25.01-01.340
 Филин К.Б. 25.01-01.214,
 25.01-01.215
 Филиппова Р.Д. 25.01-01.297
 Фионов А.С. 25.01-01.148
 Форштер Е.Б. 25.01-01.449
 Фролова О.В. 25.01-01.387
 Фурман А.В. 25.01-01.400

Х

Хайдаров Л.И. 25.01-01.44
 Хайдуков З.В. 25.01-01.497
 Хандеева Н.А. 25.01-01.37
 Харламов А.А. 25.01-01.386
 Хило П.А. 25.01-01.167
 Хилько А.И. 25.01-01.198
 Хитров Д.Е. 25.01-01.351
 Хлыбов А.А. 25.01-01.95
 Хмельёв В.Н. 25.01-01.178
 Хорунжий Г.Д. 25.01-01.362
 Хохлова В.А. 25.01-01.70,
 25.01-01.72, 25.01-01.76,
 25.01-01.102, 25.01-01.103,
 25.01-01.171, 25.01-01.364,
 25.01-01.365, 25.01-01.368,
 25.01-01.369, 25.01-01.373
 Христов И. 25.01-01.485
 Христова Р. 25.01-01.485
 Хусаинов И.Г. 25.01-01.65
 Хуторщиков М.В. 25.01-01.420

Ц

Цветков А.С. 25.01-01.465
 Цегельник Н.С. 25.01-01.487
 Цодокова В.В. 25.01-01.438
 Цукерников И.Е. 25.01-01.325
 Цыба Е.Н. 25.01-01.429
 Цыбин В.С. 25.01-01.191
 Цыбульская Н.Д. 25.01-01.353
 Цысарь С.А. 25.01-01.107,
 25.01-01.170, 25.01-01.171,

25.01-01.365, 25.01-01.368,
 25.01-01.369, 25.01-01.402

Ч

Чарная Е.В. 25.01-01.125,
 25.01-01.134
 Часовников Е.А. 25.01-01.238
 Чекунов И.В. 25.01-01.440
 Черданцев А.В. 25.01-01.89
 Чернышев С.А. 25.01-01.228,
 25.01-01.229, 25.01-01.235,
 25.01-01.244
 Чернявский С.Ю. 25.01-01.83
 Черняев А.Л. 25.01-01.369
 Чиглинцев И.А. 25.01-01.35
 Чижов В.Ю. 25.01-01.338
 Чикирев В.Н. 25.01-01.511
 Чинак А.В. 25.01-01.126
 Чиркова В.В. 25.01-01.169
 Числов Д.С. 25.01-01.345
 Чугунин Д.В. 25.01-01.135,
 25.01-01.137
 Чуличков А.И. 25.01-01.353
 Чулкова М.Ю. 25.01-01.122
 Чунчузов И.П. 25.01-01.217,
 25.01-01.220, 25.01-01.353
 Чупова Д.Д. 25.01-01.364,
 25.01-01.369
 Чучин И.С. 25.01-01.385

Ш

Шамаев В.Г. 25.01-01.6, 25.01-01.7
 Шаманаева Л.Г. 25.01-01.219
 Шамов А.О. 25.01-01.432
 Шамсутдинова Е.С. 25.01-01.155
 Шанин А.В. 25.01-01.48,
 25.01-01.101, 25.01-01.105
 Шаповалов Г.К. 25.01-01.300
 Шаракшанэ А.С. 25.01-01.366
 Шариков А.Н. 25.01-01.411
 Шарипов З. 25.01-01.485
 Шафигуллин Л.Н. 25.01-01.162
 Шварц М.Л. 25.01-01.433
 Швецов И.А. 25.01-01.171,
 25.01-01.365
 Швецова Н.А. 25.01-01.171
 Шевцов С.Е. 25.01-01.343,
 25.01-01.352
 Шевченко А.К. 25.01-01.18
 Шевченко В.И. 25.01-01.80
 Шейнман Ю.С. 25.01-01.436
 Шелест Е.Л. 25.01-01.101
 Шенкин А.В. 25.01-01.274
 Шепелев И.А. 25.01-01.405
 Шерменева М.А. 25.01-01.182
 Шершнёв А.А. 25.01-01.41
 Шестопалова Л.Б. 25.01-01.372
 Ширгина Н.В. 25.01-01.73,
 25.01-01.342
 Ширококов В.В. 25.01-01.443
 Ширшова М.О. 25.01-01.262
 Школин В.П. 25.01-01.271
 Шкрамада С.С. 25.01-01.199
 Шлычков С.В. 25.01-01.351
 Шлягун А.Н. 25.01-01.297
 Шмакова А.В. 25.01-01.79,
 25.01-01.81, 25.01-01.302
 Шпилев Н.Н. 25.01-01.42,
 25.01-01.213, 25.01-01.214,
 25.01-01.215
 Шубин П.С. 25.01-01.477
 Шубралова Е.В. 25.01-01.511
 Шувалов Г.В. 25.01-01.431

Шуйгина Н.В. **25.01-01.443**
Шукало Д.М. **25.01-01.202**
Шуляпов С.А. **25.01-01.100,**
25.01-01.112, 25.01-01.328
Шупен К.Г. **25.01-01.421,**
25.01-01.422
Шуруп А.С. **25.01-01.186,**
25.01-01.309
Шуршаков В.А. **25.01-01.456**
Шустов А.В. **25.01-01.280,**
25.01-01.281
Шустов Л.В. **25.01-01.284**

Щ

Щербаков В.А. **25.01-01.290**

Щербакова Н.В. **25.01-01.442**
Щербатюк А.Ф. **25.01-01.201**
Щиржецкий Х.А. **25.01-01.347**
Щуров В.А. **25.01-01.185**
Щурова Н.Е. **25.01-01.325**

Ю

Юденкова М.А. **25.01-01.317**
Юдин В.Г. **25.01-01.250**
Юдин М.А. **25.01-01.235**
Юдинцев Ю.Н. **25.01-01.259**
Юлдашев П.В. **25.01-01.70,**
25.01-01.76, 25.01-01.102,
25.01-01.103, 25.01-01.365
Юренко А.Ю. **25.01-01.342**

Юсупов В.И. **25.01-01.133**
Юшкова О.В. **25.01-01.509**

Я

Ягудина Э.И. **25.01-01.426**
Яковенко С.Н. **25.01-01.18**
Яковец М.А. **25.01-01.226**
Яковлев А.В. **25.01-01.407**
Яковчук М.С. **25.01-01.42**
Яцких А.А. **25.01-01.79, 25.01-01.81,**
25.01-01.82, 25.01-01.302
Яшин Д.В. **25.01-01.158**

УКАЗАТЕЛЬ ИСТОЧНИКОВ

Журналы

- Акустический журнал. 2024. 70, № 4 25.01-01.86
 Акустический журнал. 2024. 70, № 5 25.01-01.7,
 25.01-01.95, 25.01-01.134, 25.01-01.162, 25.01-01.205,
 25.01-01.237, 25.01-01.244, 25.01-01.301, 25.01-01.327,
 25.01-01.340, 25.01-01.374
 Акустический журнал. 2024. 70, № 6 25.01-01.29,
 25.01-01.33, 25.01-01.34, 25.01-01.48, 25.01-01.129,
 25.01-01.131, 25.01-01.133, 25.01-01.168, 25.01-01.204,
 25.01-01.209, 25.01-01.243, 25.01-01.328, 25.01-01.394
 Акустический журнал. 2024. 70, № 5S 25.01-01.1,
 25.01-01.16, 25.01-01.66, 25.01-01.67, 25.01-01.68,
 25.01-01.69, 25.01-01.70, 25.01-01.71, 25.01-01.72,
 25.01-01.73, 25.01-01.96, 25.01-01.97, 25.01-01.98,
 25.01-01.99, 25.01-01.100, 25.01-01.101, 25.01-01.102,
 25.01-01.103, 25.01-01.104, 25.01-01.105, 25.01-01.106,
 25.01-01.107, 25.01-01.108, 25.01-01.109, 25.01-01.110,
 25.01-01.111, 25.01-01.112, 25.01-01.113, 25.01-01.114,
 25.01-01.115, 25.01-01.116, 25.01-01.117, 25.01-01.118,
 25.01-01.119, 25.01-01.120, 25.01-01.121, 25.01-01.122,
 25.01-01.123, 25.01-01.124, 25.01-01.125, 25.01-01.146,
 25.01-01.147, 25.01-01.148, 25.01-01.149, 25.01-01.150,
 25.01-01.151, 25.01-01.152, 25.01-01.153, 25.01-01.154,
 25.01-01.155, 25.01-01.156, 25.01-01.157, 25.01-01.158,
 25.01-01.159, 25.01-01.160, 25.01-01.161, 25.01-01.163,
 25.01-01.164, 25.01-01.165, 25.01-01.166, 25.01-01.170,
 25.01-01.171, 25.01-01.172, 25.01-01.173, 25.01-01.174,
 25.01-01.175, 25.01-01.176, 25.01-01.177, 25.01-01.179,
 25.01-01.180, 25.01-01.181, 25.01-01.182, 25.01-01.183,
 25.01-01.184, 25.01-01.185, 25.01-01.186, 25.01-01.187,
 25.01-01.188, 25.01-01.189, 25.01-01.190, 25.01-01.191,
 25.01-01.192, 25.01-01.193, 25.01-01.194, 25.01-01.195,
 25.01-01.196, 25.01-01.197, 25.01-01.198, 25.01-01.199,
 25.01-01.200, 25.01-01.201, 25.01-01.202, 25.01-01.217,
 25.01-01.218, 25.01-01.219, 25.01-01.220, 25.01-01.221,
 25.01-01.222, 25.01-01.223, 25.01-01.224, 25.01-01.225,
 25.01-01.226, 25.01-01.227, 25.01-01.228, 25.01-01.229,
 25.01-01.230, 25.01-01.231, 25.01-01.232, 25.01-01.233,
 25.01-01.234, 25.01-01.235, 25.01-01.236, 25.01-01.309,
 25.01-01.310, 25.01-01.311, 25.01-01.312, 25.01-01.313,
 25.01-01.314, 25.01-01.318, 25.01-01.319, 25.01-01.320,
 25.01-01.321, 25.01-01.322, 25.01-01.323, 25.01-01.324,
 25.01-01.325, 25.01-01.339, 25.01-01.341, 25.01-01.342,
 25.01-01.343, 25.01-01.344, 25.01-01.345, 25.01-01.346,
 25.01-01.347, 25.01-01.348, 25.01-01.349, 25.01-01.350,
 25.01-01.351, 25.01-01.352, 25.01-01.353, 25.01-01.354,
 25.01-01.355, 25.01-01.356, 25.01-01.357, 25.01-01.358,
 25.01-01.359, 25.01-01.360, 25.01-01.361, 25.01-01.362,
 25.01-01.363, 25.01-01.364, 25.01-01.365, 25.01-01.366,
 25.01-01.367, 25.01-01.368, 25.01-01.369, 25.01-01.370,
 25.01-01.371, 25.01-01.373, 25.01-01.375, 25.01-01.376,
 25.01-01.377, 25.01-01.378, 25.01-01.379, 25.01-01.380,
 25.01-01.381, 25.01-01.382, 25.01-01.383, 25.01-01.384,
 25.01-01.385, 25.01-01.386, 25.01-01.387, 25.01-01.401,
 25.01-01.402, 25.01-01.413
 Земля и Вселенная. 2024, № 1 25.01-01.10, 25.01-01.11,
 25.01-01.444, 25.01-01.445, 25.01-01.446, 25.01-01.447,
 25.01-01.448, 25.01-01.449, 25.01-01.450, 25.01-01.451
 Земля и Вселенная. 2024, № 2 25.01-01.452, 25.01-01.453,
 25.01-01.454, 25.01-01.455, 25.01-01.456, 25.01-01.457,
 25.01-01.458, 25.01-01.459, 25.01-01.460, 25.01-01.461
 Земля и Вселенная. 2024, № 3 25.01-01.462, 25.01-01.463,
 25.01-01.464, 25.01-01.465, 25.01-01.466, 25.01-01.467,
 25.01-01.468, 25.01-01.469, 25.01-01.470, 25.01-01.471
 Земля и Вселенная. 2024, № 4 25.01-01.472, 25.01-01.473,
 25.01-01.474, 25.01-01.475, 25.01-01.476, 25.01-01.477,
 25.01-01.478, 25.01-01.479, 25.01-01.480, 25.01-01.481,
 25.01-01.482, 25.01-01.483, 25.01-01.484
 Мат. моделир. 2025. 37, № 1 25.01-01.37, 25.01-01.38,
 25.01-01.54
 Научно-техническая информация. Серия 1. Организация и
 методика информационной работы. 2024, № 9 25.01-01.6
 Прикл. мат. и мех. 2024. 88, № 2 25.01-01.23, 25.01-01.59
 Прикл. мат. и мех. 2024. 88, № 3 25.01-01.60, 25.01-01.64,
 25.01-01.140, 25.01-01.203, 25.01-01.206
 Прикл. мат. и мех. 2024. 88, № 4 25.01-01.61
 Прикл. мат. и мех. 2024. 88, № 5 25.01-01.21, 25.01-01.47
 Прикл. мат. и мех. 2024. 88, № 6 25.01-01.261
 Прикладная механика и техническая физика. 2024. 65, № 4
 25.01-01.65, 25.01-01.302
 Прикладная механика и техническая физика. 2024. 65, № 6
 25.01-01.88, 25.01-01.89, 25.01-01.141, 25.01-01.178,
 25.01-01.207
 Прикладная физика. 2024, № 6 25.01-01.511
 Природа. 2024, № 1 25.01-01.13
 Природа. 2025, № 1 25.01-01.14
 Пробл. физ., мат. и техн. 2024, № 3(60) 25.01-01.74,
 25.01-01.167, 25.01-01.515
 Сенсорные системы. 2024. 38, № 1 25.01-01.388
 Сенсорные системы. 2024. 38, № 2 25.01-01.389,
 25.01-01.395
 Сенсорные системы. 2024. 38, № 3 25.01-01.372,
 25.01-01.396
 Сенсорные системы. 2024. 38, № 4 25.01-01.390,
 25.01-01.391, 25.01-01.392, 25.01-01.393, 25.01-01.397
 Сибирский аэрокосмический журнал. 2024. 25, № 3
 25.01-01.8, 25.01-01.9
 Сибирский аэрокосмический журнал. 2024. 25, № 4
 25.01-01.50, 25.01-01.211
 Сибирский математический журнал. 2024. 65, № 5
 25.01-01.416
 Сибирский математический журнал. 2024. 65, № 6
 25.01-01.417
 Сибирский физический журнал. 2024. 19, № 4 25.01-01.79
 Теплофиз. и аэромех. 2024, № 3 25.01-01.39, 25.01-01.81,
 25.01-01.94, 25.01-01.126, 25.01-01.238
 Теплофиз. и аэромех. 2024, № 4 25.01-01.40
 Теплофиз. и аэромех. 2024, № 5 25.01-01.17, 25.01-01.18,
 25.01-01.41, 25.01-01.239
 Теплофизика высоких температур. 2023. 63, № 6
 25.01-01.137
 Теплофизика высоких температур. 2024. 62, № 1
 25.01-01.30, 25.01-01.62
 Теплофизика высоких температур. 2024. 62, № 2
 25.01-01.77
 Теплофизика высоких температур. 2024. 62, № 4
 25.01-01.63, 25.01-01.78, 25.01-01.268
 Теплофизика высоких температур. 2024. 62, № 5
 25.01-01.35, 25.01-01.135
 Техническая акустика. 2024, № 1 25.01-01.407
 Труды Крыловского государственного научного центра. 2023,
 № 4(406) 25.01-01.36
 Труды Крыловского государственного научного центра. 2024,
 № 1(407) 25.01-01.51, 25.01-01.52, 25.01-01.208,
 25.01-01.329
 Труды Крыловского государственного научного центра. 2024,
 № 2(408) 25.01-01.212, 25.01-01.330, 25.01-01.337,
 25.01-01.338
 Труды Крыловского государственного научного центра. 2024,
 № 3(409) 25.01-01.24, 25.01-01.331, 25.01-01.336
 Труды Крыловского государственного научного центра. 2024,
 № 4(410) 25.01-01.25, 25.01-01.332
 Труды Крыловского государственного научного центра. 2025,
 № 1(411) 25.01-01.333, 25.01-01.334
 Труды МАИ. 2024, № 4(137) 25.01-01.335, 25.01-01.403
 Труды МАИ. 2024, № 4(138) 25.01-01.80, 25.01-01.506
 Труды МАИ. 2024, № 4(139) 25.01-01.53, 25.01-01.507,
 25.01-01.508
 УФН. 2025. 195, № 1 25.01-01.418
 Учен. зап. ЦАГИ. 1970. 1, № 1 25.01-01.516

- Учен. зап. ЦАГИ. 1970. 1, № 3 **25.01-01.251, 25.01-01.517**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1970. 1, № 5 **25.01-01.518**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1970. 1, № 6 **25.01-01.83, 25.01-01.276**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1971. 2, № 4 **25.01-01.304**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1971. 2, № 5 **25.01-01.519**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1971. 2, № 6 **25.01-01.84, 25.01-01.85**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1972. 3, № 1 **25.01-01.15**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1972. 3, № 4 **25.01-01.28, 25.01-01.305**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1973. 4, № 2 **25.01-01.252**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1973. 4, № 5 **25.01-01.253**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1973. 4, № 6 **25.01-01.306**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1974. 5, № 2 **25.01-01.254, 25.01-01.255**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1975. 6, № 4 **25.01-01.256**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1975. 6, № 6 **25.01-01.277**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1976. 7, № 1 **25.01-01.257**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1976. 7, № 2 **25.01-01.278**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1976. 7, № 3 **25.01-01.279**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1977. 8, № 4 **25.01-01.46**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1977. 8, № 6 **25.01-01.280**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1978. 9, № 3 **25.01-01.56**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1978. 9, № 4 **25.01-01.258**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1979. 10, № 1 **25.01-01.267**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1979. 10, № 2 **25.01-01.31**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1979. 10, № 3 **25.01-01.259**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1979. 10, № 4 **25.01-01.127**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1980. 11, № 2 **25.01-01.406**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1980. 11, № 4 **25.01-01.281**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1980. 11, № 5 **25.01-01.282**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1980. 11, № 6 **25.01-01.283**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1982. 13, № 1 **25.01-01.49**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1982. 13, № 2 **25.01-01.284**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1982. 13, № 3 **25.01-01.32**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1982. 13, № 6 **25.01-01.285**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1983. 14, № 5 **25.01-01.286**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1984. 15, № 1 **25.01-01.287, 25.01-01.288**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1985. 16, № 1 **25.01-01.316**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1985. 16, № 4 **25.01-01.289**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1985. 16, № 5 **25.01-01.57**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1986. 17, № 1 **25.01-01.290**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1986. 17, № 3 **25.01-01.291**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1987. 18, № 6 **25.01-01.292**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1988. 19, № 3 **25.01-01.293**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1988. 19, № 4 **25.01-01.294, 25.01-01.295**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1988. 19, № 5 **25.01-01.307, 25.01-01.308**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1989. 20, № 5 **25.01-01.296**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1990. 21, № 2 **25.01-01.297**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1990. 21, № 3 **25.01-01.298**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1990. 21, № 5 **25.01-01.58**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1990. 21, № 6 **25.01-01.299**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1991. 22, № 1 **25.01-01.398**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1991. 22, № 3 **25.01-01.75**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1991. 22, № 5 **25.01-01.300**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1993. 24, № 2 **25.01-01.128**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1994. 25, № 3-4 **25.01-01.240**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1997. 28, № 2 **25.01-01.241**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1998. 29, № 1-2 **25.01-01.242**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1998. 29, № 3-4 **25.01-01.260**
- Учен. зап. ЦАГИ. 1999. 30, № 1-2 **25.01-01.216**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2002. 33, № 1-2 **25.01-01.326**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2002. 33, № 3-4 **25.01-01.269**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2003. 34, № 1-2 **25.01-01.270**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2003. 34, № 3-4 **25.01-01.271**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2022. 53, № 6 **25.01-01.245**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2023. 54, № 2 **25.01-01.246, 25.01-01.247**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2023. 54, № 4 **25.01-01.248**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2023. 54, № 5 **25.01-01.272**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2023. 54, № 6 **25.01-01.249**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2024. 55, № 1 **25.01-01.250, 25.01-01.400**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2024. 55, № 3 **25.01-01.20**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2024. 55, № 4 **25.01-01.82**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2024. 55, № 5 **25.01-01.273**
- Учен. зап. ЦАГИ. 2024. 55, № 6 **25.01-01.274, 25.01-01.275, 25.01-01.303**
- Ученые записки ЕГУ, физико-математических наук. 2024. 58, № 3 **25.01-01.414**
- Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки. 2024. 166, № 3 **25.01-01.43, 25.01-01.44, 25.01-01.45**
- Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки. 2024. 166, № 4 **25.01-01.512**
- Ученые записки физического ф-та МГУ. 2024, № 6 **25.01-01.26, 25.01-01.399, 25.01-01.510**
- Физика горения и взрыва. 2024. 60, № 5 **25.01-01.262, 25.01-01.263**
- Физика горения и взрыва. 2024. 60, № 6 **25.01-01.264, 25.01-01.265, 25.01-01.266**
- Физика и химия обработки материалов. 2022, № 3 **25.01-01.408**
- Физика и химия обработки материалов. 2022, № 4 **25.01-01.409**
- Физика и химия обработки материалов. 2022, № 5 **25.01-01.410**
- Физика и химия обработки материалов. 2023, № 2 **25.01-01.411**
- Физика и химия обработки материалов. 2024. 60, № 4 **25.01-01.412**
- Физика плазмы. 2024. 50, № 6 **25.01-01.317**
- Физика плазмы. 2024. 50, № 7 **25.01-01.315, 25.01-01.513, 25.01-01.514**
- Физика твердого тела. 2025. 67, № 1 **25.01-01.136, 25.01-01.169**
- Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2024. 55, № 3 **25.01-01.485**
- Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2024. 55, № 4 **25.01-01.12, 25.01-01.486, 25.01-01.487, 25.01-01.488**
- Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2024. 55, № 5 **25.01-01.489**
- Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2024. 55, № 6 **25.01-01.415, 25.01-01.490, 25.01-01.491, 25.01-01.492, 25.01-01.493, 25.01-01.494, 25.01-01.495, 25.01-01.496, 25.01-01.497, 25.01-01.498, 25.01-01.499, 25.01-01.500, 25.01-01.501, 25.01-01.502, 25.01-01.503**
- Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2025. 56, № 1 **25.01-01.504, 25.01-01.505**
- Физическая мезомеханика. 2024. 27, № 6 **25.01-01.55, 25.01-01.138, 25.01-01.139**
- Физические основы приборостроения. 2023. 12, № 2 **25.01-01.130**
- Физические основы приборостроения. 2023. 12, № 3 **25.01-01.142, 25.01-01.509**
- Физические основы приборостроения. 2024. 13, № 1 **25.01-01.143, 25.01-01.144**
- Физические основы приборостроения. 2024. 13, № 3 **25.01-01.19, 25.01-01.145**
- Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2024. 17, № 4 **25.01-01.42, 25.01-01.210, 25.01-01.213, 25.01-01.214, 25.01-01.215**
- Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2022. 19, № 1 **25.01-01.90**
- Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2022. 19, № 2 **25.01-01.91**
- Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2022. 19, № 4 **25.01-01.92**
- Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2023. 20, № 3 **25.01-01.93, 25.01-01.404**
- Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2024. 210, № 1 **25.01-01.405**
- Южно-Сибирский научный вестник. 2024, № 5(57) **25.01-01.132**

Конференции и сборники

Труды Института прикладной астрономии РАН № 68. 2024
**25.01-01.419, 25.01-01.420, 25.01-01.421, 25.01-01.422,
25.01-01.423, 25.01-01.424**

Труды Института прикладной астрономии РАН № 69. 2024
**25.01-01.425, 25.01-01.426, 25.01-01.427, 25.01-01.428,
25.01-01.429, 25.01-01.430**

Труды Института прикладной астрономии РАН № 70. 2024
**25.01-01.431, 25.01-01.432, 25.01-01.433, 25.01-01.434,
25.01-01.435, 25.01-01.436, 25.01-01.437**

Труды Института прикладной астрономии РАН № 71. 2024
**25.01-01.438, 25.01-01.439, 25.01-01.440, 25.01-01.441,
25.01-01.442, 25.01-01.443**

Книги

Труды Института прикладной астрономии РАН № 68. 2024
25.01-01.2К

Труды Института прикладной астрономии РАН № 69. 2024
25.01-01.3К

Труды Института прикладной астрономии РАН № 70. 2024
25.01-01.4К

Труды Института прикладной астрономии РАН № 71. 2024
25.01-01.5К

СОДЕРЖАНИЕ

Конгрессы, конференции, семинары, симпозиумы, советы, совещания	25.01-01.1
Библиография	25.01-01.2
Персоналии	25.01-01.8
Классические проблемы линейной акустики и теории волн	25.01-01.17
Нелинейная акустика	25.01-01.66
Физическая акустика	25.01-01.96
Акустика океана, гидроакустика	25.01-01.179
Атмосферная и аэроакустика	25.01-01.217
Акустика структурно неоднородных сред; Геологическая акустика	25.01-01.309
Акустическая экология; Шумы и вибрации	25.01-01.318
Акустика помещений; Музыкальная акустика	25.01-01.341
Обработка акустических сигналов; Компьютерное моделирование	25.01-01.353
Акустика живых систем; Биологическая акустика	25.01-01.354
Физические основы технической акустики	25.01-01.398
Акустика в инженерном деле	25.01-01.414
Физика	25.01-01.415
Астрономия	25.01-01.419
Авторский указатель Указатель источников	