

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.

№ 06

Выходит 6 раз в год

Москва 2022

Библиография

22.06-01.1К Теоретическая и прикладная газовая динамика. Труды ЦИАМ № 1341. Т. 1. М.: Торус ПРЕСС. 2010, 488 с. ISBN 978-5-94588-084-9

В настоящем сборнике, посвященном 80-летию ЦИАМ, представлены работы, выполненные в отделении 700 (газовой динамики и теплофизики) за последние несколько лет. Сборник состоит из двух томов. В первый том вошли три раздела: прикладные задачи газовой динамики; задачи, связанные с горением; аэроакустика. Во второй том вошли 2 раздела: задачи оптимизации; физическая газовая динамика.

22.06-01.2К Экологические проблемы авиации. Под ред. Халецкого Ю.Д. (ред.) М.: Торус пресс. 2010, 504 с. ISBN 978-5-94588-091-7

Настоящий сборник содержит три раздела статей, посвященных проблеме шума и эмиссии вредных веществ от авиационных двигателей. Изложены результаты теоретических, расчетных и экспериментальных работ. В разделе "Шум авиационных двигателей" помещены статьи, посвященные исследованиям основных источников шума двигателей и методам снижения их шума.

22.06-01.3К Теоретическая газовая динамика. Классика и современность. М.: Торус пресс. 2010, 440 с. ISBN 978-5-94588-076-4

В монографии изложены классические основы теоретической газовой динамики и результаты, иллюстрирующие её современное состояние. Описаны ключевые решения для одномерных нестационарных и двумерных (плоских, осесимметричных, конических) стационарных течений, как правило, идеального (невязкого и нетеплопроводного) газа с произвольными двупараметрическими уравнениями состояния (например, совершенного с постоянными теплоемкостями). Особое внимание уделено построению оптимальных аэродинамических форм, в котором получен ряд впечатляющих результатов в последние годы.

22.06-01.4К Теоретическая и прикладная газовая динамика. Т. 1. Под ред. Крашенинникова С.Ю. (ред.) М.: Торус пресс. 2010, 488 с. ISBN 978-5-94588-084-9

В сборнике, посвященном 80-летию ЦИАМ, представлены работы, выполненные в отделении 700 (газовой динамики и теплофизики) за последние несколько лет. Сборник состоит из двух томов. В первый том вошли три раздела: прикладные задачи газовой динамики; задачи, связанные с горением; аэроакустика. Во второй том вошли 2 раздела: задачи оптимизации; физическая газовая динамика. Сборник предназначен для специалистов в области газовой динамики и теплофизики, а также

может быть полезен студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

22.06-01.5К Теоретическая и прикладная газовая динамика. Т. 2. Под ред. Крашенинникова С.Ю. (ред.) М.: Торус пресс. 2010, 416 с. ISBN 978-5-94588-085-6

В сборнике, посвященном 80-летию ЦИАМ, представлены работы, выполненные в отделении 700 (газовой динамики и теплофизики) за последние несколько лет. Сборник состоит из двух томов. В первый том вошли три раздела: прикладные задачи газовой динамики; задачи, связанные с горением; аэроакустика. Во второй том вошли 2 раздела: задачи оптимизации; физическая газовая динамика. Сборник предназначен для специалистов в области газовой динамики и теплофизики, а также может быть полезен студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

22.06-01.6К Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов. М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020. ISBN 978-5-94049-047-0

Сборник посвящен актуальным направлениям развития газовой динамики и физической химии применительно к перспективным авиационным и авиационно-космическим силовым установкам. В статьях представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований последних пяти лет. Результаты работ, выполненных в ЦИАМ, имеют практическое значение для развития методов проектирования и расчетно-экспериментальной отработки входных и выходных устройств, компрессоров, камер сгорания с дозвуковым горением и горением в сверхзвуковом потоке с ударными волнами, межкомпрессорных и межтурбинных переходных каналов и перспективных реверсивных устройств.

22.06-01.7К Труды Института прикладной астрономии РАН № 60. СПб.: ИПА РАН. 2022. ISBN 978-5-93197-080-6

Специальный выпуск сборника «Труды Института прикладной астрономии РАН» содержит материалы Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2021), проходившей с 15 по 19 апреля 2021 г. в Санкт-Петербурге в Институте прикладной астрономии РАН. Статьи, представленные в сборнике, охватывают широкий круг теоретических, методических и организационно-правовых вопросов в области фундаментального и прикладного КВНО. Особое внимание уделе-

но вопросам поддержания, развития и использования системы ГЛОНАСС; установления и поддержания систем отсчета; мониторинга параметров вращения Земли; хранения и синхронизации шкал времени; определения параметров гравитационного поля Земли и др. Подробно рассмотрены современные высокоточные технические средства и методы КВНО: радиоинтерферометрические комплексы со сверхдлинными базами, системы лазерной локации ИСЗ и Луны, глобальные навигационные спутниковые системы, стандарты времени и частоты, геоинформационные системы и др., а также способы их объединения — колокации.

22.06-01.8К Труды Института прикладной астрономии РАН № 61. 2022

22.06-01.9К Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022. ISBN 978-5-98354-064-4

В сборнике представлены доклады участников девятой российской конференции «Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике», организованной ИПМ им. Келдыша РАН в г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.

22.06-01.10К Прикладная газовая динамика. Том 1. 5-е изд., перераб. и доп. Абрамович Г.Н. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1991, 600 с. ISBN 5-02-014015-5

Изложены основы газовой динамики в применении к теории реактивных двигателей и других газовых машин и аппаратов. В части 1 рассмотрена теория одномерных газовых течений, на которой базируются методы расчета реактивных двигателей, лопаточных машин, эжекторов аэродинамических труб и испытательных стендов. Изложены теория пограничного слоя и теория струй, лежащие в основе определения сопротивления трения, полей скорости и температуры в соплах, диффузорах, камерах сгорания, эжекторах и т.п.

22.06-01.11К Прикладная газовая динамика. Том 2. 5-е изд., перераб. и доп. Абрамович Г.Н. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1991, 304 с. ISBN 5-02-014962-4

Изложены основы газовой динамики в применении к теории реактивных двигателей и других газовых машин и аппаратов. В части 2 рассмотрены гиперзвуковые течения, элементы магнитной гидродинамики, течения разреженных газов, а также теории крыла и решеток крыловых профилей. В пятое издание (4-е изд. — 1976 г.) включены материалы по численным методам, сверхзвуковой газовой динамике, новые сведения о струях и спутном потоке.

Персоналии

22.06-01.12 О научных результатах в области физических наук, полученных в 2020—2021 гг. Кильпино Е.Ю., Щербанов И.А. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2022. 506, № 2, с. 3-33. Рус.

DOI: 10.31857/S2686740022070069.

22.06-01.13 Становление спутниковых исследований в рамках международного геофизического года (1957—1958). Щербинин Д.Ю. Вопросы истории естествознания и техники. 2020. 41, № 4, с. 692-716. Рус.

В рамках программы геофизических исследований Международного геофизического года (1957—1958) на околоземные орбиты были выведены семь искусственных спутников Земли, что стало не только успехом программы, но и положило начало практической космонавтике. Вместе с тем становление ракетно-космической техники, развитие методов и средств исследования Земли и околоземного космического пространства происходили в условиях острого политического противостояния СССР и США. Это не давало возможности реализовать планомерный широко масштабный научный подход к освоению космоса, но, с другой стороны, позволяло привлекать максимально возможные ресурсы для исследований, опытно-конструкторских работ и испытаний техники, задавая предельно высокий темп развития новой научно-технической отрасли. Преследуя схожие цели в космической гонке, страны двигались к их достижению различными путями. В статье проводится анализ научно-технических достижений двух стран в космической области в период 1957—1958 гг. и сделаны выводы о роли и значении программы спутниковых исследований Международного геофизического года в развитии мировой космонавтики.

22.06-01.14 В.Н. Сокольский — основоположник историко-космических исследований в ИИЕТ РАН. Желтова Е.Л., Соколов Д.А. Вопросы истории естествознания и техники. 20220. 43, № 2, с. 219-230. Рус.

Статья посвящена историку техники В.Н. Сокольскому, всю свою трудовую жизнь проработавшему в Институте истории естествознания и техники АН СССР (РАН). Рассмотрена основополагающая роль Сокольского в становлении истории ракетно-космической техники как одного из научных направлений в работе Академии наук. Показаны социально-исторические факторы, поставившие его во главе исследований по истории космонавтики, и те направления, по которым он стал развивать эту область. Продемонстрированы особенности стиля работы Сокольского как организатора и исследователя. Описана его деятельность по ознакомлению мирового научно-

го сообщества с историей отечественной ракетной техники и космонавтики. Освещена роль Сокольского в подготовке молодых ученых, издании книг о пионерах отечественной и мировой космонавтики и сборников исследований по истории космонавтики. Статья написана в мемуарно-исследовательском стиле, поскольку ее авторы продолжительное время работали под руководством Сокольского.

22.06-01.15 Пионер лазерной эры К 100-летию со дня рождения академика Н.Г. Басова. Компанец И.Н. Вестник Российской академии наук (РАН). 2022. 92, № 12, с. 1167-1177. Рус.

Статья посвящена жизни и деятельности выдающегося советского и российского учёного, одного из основоположников квантовой электроники, лауреата Нобелевской премии в области физики, академика АН СССР и РАН Николая Геннадиевича Басова (1922—2001). Автор повествует об основных этапах его биографии, акцентируя внимание на главных научных достижениях: создании (совместно с А.М. Прохоровым) принципиально новых малошумящих квантовых генераторов и усилителей радиочастотного диапазона — мазеров, а позднее (совместно с коллегами из Физического института АН СССР им. П.Н. Лебедева) семейства лазеров — генераторов более коротковолнового (оптического) диапазона, выдвигении (совместно с О.Н. Крохиным) идеи осуществления лазерного термоядерного синтеза путём нагрева мишени излучением лазера до температуры, достаточной для протекания реакций синтеза. В статье уделяется внимание и успешной деятельности академика Басова как крупного организатора науки, много сделавшего для разработки и производства лазерной техники, которая нашла самое широкое применение не только в науке, но и в различных отраслях народного хозяйства, военном деле. Ключевые слова: Н.Г. Басов, квантовый генератор, мазер, лазер, лазерный термоядерный синтез, ФИАН им. П.Н. Лебедева АН СССР, нобелевские лауреаты. DOI: 10.31857/S0869587322120052.

22.06-01.16 Астронавигационная подготовка космонавтов в СССР в 1960-е годы (по материалам РГАНТД). Батченко В.С. История науки и техники. 2022, № 10, с. 3-8. Рус.

Центральное внимание уделено организации подготовки космонавтов по навигации как значимого этапа реализации советской пилотируемой лунной программы, а также для иллюстрации становления материальной базы Центра подготовки космонавтов (ЦПК) на протяжении 1960-х гг. Исследование базируется на документах недавно рассекреченного фонда 1 «ЦПК им.

Ю.А. Гагарина» Российского государственного архива научно-технической документации (РГАНТД). Цель работы — выявить теоретические и практические методики подготовки космонавтов к самостоятельному ориентированию при возможном полете на несколько сотен тысяч километров от Земли. Задачи публикации: показать виды теоретической и практической подготовки и раскрыть проблемы, с которыми сталкивался ЦПК при организации тренировок на астронавигацию. Астронавигационная подготовка космонавтов в программах «Восток» и «Восход» носила ознакомительный характер, потому что полеты совершались по околоземной орбите, т.е. на небольшой высоте от Земли и в автоматическом режиме. Тем не менее, на случай аварийных ситуаций, в программу подготовки входило обучение астрономии на территории Московского планетария и формирование навыков ориентирования по созвездиям при управлении самолетом. Полеты к Луне подразумевали увеличение доли ручного управления космическим кораблем и повышения роли космонавта как пилота, потому в ЦПК для «лунных» экипажей усилили теоретический блок, ввели широтные полеты на самолетах Ту-124 и начали практику зарубежных командировок в Сомали. Но организационные трудности вносили коррективы: старые глобусы с нечетким изображением, отсутствие собственного планетария, а после — помещения для него,

частые поломки самолетов и нецелевое использование их рабочего ресурса другими воинскими частями, — это еще неполный список проблем, затягивавших и усложнявших подготовку космонавтов. Сворачивание советской лунной программы привело к началу командирования космонавтов в республику Сомали, но не повлияло на астронавигационную подготовку в целом. Ключевые слова: космическая навигация, Центр подготовки космонавтов, космонавтика, астрономическая подготовка, лунная программа, летная подготовка, планетарий.

22.06-01.17 История образования и развития предприятий гидроакустической отрасли (Часть 3). Беркутов Р.Н., Попов В.А., Селезнев И.А. Гидроакустика. 2022, № 51, с. <https://www.oceanpribor.ru/docs/SbGA51.pdf>. Рус.

Приведены подробные сведения об отечественных предприятиях гидроакустической отрасли, создававшихся в разные годы для удовлетворения потребностей Военно-морского флота и народного хозяйства страны в образцах техники для освещения подводной обстановки. Вводятся в научный оборот новые данные о производстве гидроакустических средств в республиках бывшего Советского Союза. Ключевые слова: гидроакустические средства и системы, гидроакустическая отрасль, гидроакустические средства военного и гражданского назначения.

Классические проблемы линейной акустики и теории волн

Математическая теория распространения волн

22.06-01.18 Линейный и нелинейные подходы и цифровая обработка сигналов в вычислительной акустике. Крайко А.Н., Мельникова О.М., Пьянков К.С. Теоретическая и прикладная газовая динамика. Труды ЦИАМ № 1341. Т. 1. М.: Торус ПРЕСС. 2010, с. 439-452. Рус.

Выполнено сравнение линейного и нелинейного подходов к расчету распространения и эволюции малых акустических возмущений в неоднородных потоках. В общепринятом линейном подходе численно интегрируются линеаризованные уравнения нестационарного течения идеального (невязкого и нетеплопроводного) или вязкого газа. При нелинейном подходе интегрируются исходные нелинейные уравнения того же нестационарного течения (для идеального газа — уравнения Эйлера), которые и при линейном подходе вместе с процедурой установления используются для расчета стационарного фона. Показано, что применение широко используемой в акустических экспериментах цифровой обработки сигналов позволяет из результатов интегрирования нелинейных уравнений выделять гармонические акустические волны, интенсивность которых меньше интенсивности шума, обусловленного погрешностями счета, в том числе, плохим установлением стационарного фона.

22.06-01.19 Устойчивость стационарных течений с детонационной волной в канале переменной площади. Крайко А.Н., Валиев Х.Ф., Тилляева Н.И. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов. М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 64-69. Рус.

22.06-01.20 Методика определения типов разрывов при расчетах течений газа. Попов И.В. Вычислительный эксперимент в акустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 235-238. Рус.

Представлена методика определения типов разрывов при численном решении различных задач газовой динамики. Актуальность темы определяется тем, что в сложных газодинамических постановках требуется корректное определение областей, занятых волнами разрыва, контактными разрывами и ударными волнами. От правильного определения таких областей зависит выбор той или иной схемы численного решения задачи.

В работе представлена методика, которая позволяет единым образом определять границы областей, содержащих разрывы и волны различных типов. Для этого в терминах искомого газодинамического функций выведены неравенства, выделяющие такие области. Эта информация используется при модификации известных или при построении новых разностных схем с целью повышения их устойчивости и/или монотонности. Например, полученные неравенства позволяют выделять численные схемы, решения которых удовлетворяют требованию необувания энтропии. Основное рассмотрение излагается в одномерном случае. Дается обобщение методики на многомерный случай. Приводятся примеры применения методики при решении ряда известных тестовых задач газовой динамики.

22.06-01.21 Дифракция на четвертьплоскости. Получение асимптотических оценок многомерных интегралов Фурье. Шанин А.В., Assier R.C., Корольков А.И. Вычислительный эксперимент в акустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 248-249. Рус.

Предлагаемые методы ранее применялись авторами к задаче о распространении звука вдоль тонкого льда. Рассматривается задача о дифракции плоской волны на идеальной четвертьплоскости. Особенности спектральной функции для этой задачи описаны в работе R.C. Assier, A.V. Shanin. Diffraction by a quarter — plane. Analytical continuation of spectral functions. Quart. Journ. Math. Appl. Mech, 72:51 —85, 2019. Математические основы метода описаны в R.C. Assier, A.V. Shanin, A.I. Korolkov. A contribution to the mathematical theory of diffraction. Part I: A note on double Fourier integrals. arXiv:2204.02729. Получены основные вклады в волновое поле. Эти вклады сравниваются с тем, что дает ГТД (геометрическая теория дифракции), а также более тонкие методы. Описывается способ описывать деформации поверхности интегрирования. Обходы сингулярностей поверхности демонстрируются графически с помощью «мостиков», которые обладают нетривиальными свойствами и позволяют изображать топологически реализуемые поверхности.

22.06-01.22 Параллельный программный комплекс NOISEtte для крупномасштабных расчетов задач аэродинамики и акустики. Абалякин И.В., Бахвалов П.А., Горобец А.В., Дубень А.П., Козубская Т.К. Вычислительные методы и программирование. 2012. 13, № 3, с. 110-125. Рус.

Представлен программный комплекс NOISEtte, основанный на схемах повышенной точности с определением переменных в узлах неструктурированных сеток, который позволяет моделировать задачи газовой динамики и аэроакустики с использованием десятков тысяч процессорных ядер суперкомпьютера. Приводится обзор лежащих в основе численных методов и моделей, включающий в себя пространственную дискретизацию, интегрирование по времени, модели турбулентности и модели дальнего поля. Подробно описаны особенности программной реализации. Большое внимание уделяется распараллеливанию в рамках двухуровневой модели MPI+OpenMP.

Лучевая акустика

См. 22.06-01.21

Рассеяние акустических волн

22.06-01.23 Динамика акустических волн в жидкости с пузырьками «завесами». Булатова З.А., Шахметов Г.Ф. *Инженерная физика*. 2022, № 10, с. 6-11. Рус.

Представлена эволюция волнового сигнала при распространении акустических волн через парогазовые пузырьковые «завесы» в жидкости. При демонтаже подводных объектов используют энергию взрыва. Для защиты подводной флоры и фауны от воздействия ударных волн, можно использовать «завесы» с парогазовыми пузырьками. Ключевые слова: акустические волны, пузырьковые «завесы», массовая концентрация пара в пузырьках, коэффициент диффузии, теплопроводность.

Упругие волны в твердых телах

22.06-01.24 Динамика волн Стоунли на границе «вода—насыщенный водой или газогидратом песок». Шагапов В.Ш., Рафикова Г.Р., Каримова Г.Р. *Инженерно-физический журнал*. 2022. 95, № 4, с. 869-875. Рус.

Рассмотрен процесс распространения волны Стоунли на границе «вода—насыщенный водой или газогидратом песок». Для описания процесса использованы уравнения неразрывности, состояния жидкости, импульсов, волновые уравнения, уравнения для смещения частиц и компонентов тензоров напряжения. В результате нахождения аналитических решений в виде гармонической бегущей волны для давления, смещений, потенциалов для векторов продольной и поперечной волн получено дисперсионное уравнение для определения скорости волны Стоунли. Получены значения скоростей волны Стоунли для различной насыщенности песка водой и газогидратом. Определена зависимость глубины проникновения звуковой волны, продольных и поперечных волн в жидкость и в твердую среду от частоты. Предложена идея определения толщины гидратосодержащего слоя по вырождению волны Стоунли с увеличением ее длительности.

Отражение, дифракция, рассеяние упругих волн

См. 22.06-01.23

Стоячие волны, резонанс, нормальные моды

22.06-01.25 Синтез полосовых фильтров на объемных акустических волнах с учетом материальных параметров многослойной структуры резонаторов. Туралчуку П.А., Вендик И.Б. *Акустический журнал*. 2022. 68, № 6, с. 611-617. Рус.

Предложена методика синтеза полоснопропускающих фильтров (ППФ) с Чебышевской характеристикой на основе резонаторов на объемных акустических волнах с учетом влияния электромеханических параметров всех слоев многослойной структуры резонаторов. Классический синтез фильтра-прототипа, расширенный введением дополнительных реактивных элементов, позволяет сформировать требования к частотным свойствам резонаторов в составе ППФ с тем, чтобы получить равномерный уровень пульсаций в полосе пропуска-

ния. Методика дополнена использованием аналитической модели входного импеданса резонаторов на объемных акустических волнах, которая учитывает электроакустические параметры структуры, извлекаемые из результатов экспериментального исследования тестовых резонаторов. В работе представлены результаты синтеза полоснопропускающего фильтра третьего порядка на объемных акустических резонаторах, реализованных по типу многослойной структуры с акустической изоляцией от подложки.

Волноводы, волны в трубах и направляющих системах

22.06-01.26 Рефракция спиральных волн в цилиндрическом канале с неоднородной проводимостью стенки. Миронов М.А. *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов*. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 223. Рус.

Во входном канале современного турбореактивного двигателя возбуждаются, в основном, моды с высокими значениями углового номера m — спиральные моды. Поля этих мод прижаты к стенке канала, их групповые скорости распространения вдоль оси канала малы. Эти особенности позволяют воздействовать на них звукопоглощающими покрытиями даже при небольшой длине вдоль оси канала. Распространяющиеся моды можно поглощать, а можно запирают — превращать их в нераспространяющиеся. В работе обсуждается именно возможность загираания мод с помощью ЗПК. Оказывается, можно подобрать реактивную проводимость покрытия такую, что в определенном частотном диапазоне фазовая скорость поперек направления распространения спиральной волны увеличивается. Соответственно, волна будет рефрагировать, заворачивать в направлении меньшей фазовой скорости. При достаточно быстром изменении проводимости, в частности — скачком, может реализоваться эффект полного отражения. Представлены результаты асимптотических расчетов, рассмотрено влияние стационарного потока в волноводе.

22.06-01.27 Механизмы генерации и источники шума сверхзвуковых струй и численное моделирование их газодинамических и аэроакустических характеристик. Волков К.Н., Емельянов В.Н., Цветков А.И., Чернышов П.С. *Вычислительные методы и программирование*. 2019. 20, № 4, с. 498-515. Рус.

Интерес к разработке моделей и методов, направленных на изучение механизмов генерации шума в струйных течениях, объясняется постоянно ужесточающимися требованиями по шуму, производимому различными промышленными устройствами. Рассматриваются модели, лежащие в основе вычислительной газовой динамики и аэроакустики, а также интегральные методы расчета шума в дальнем поле и особенности численной реализации соответствующих математических моделей. Возможности разработанных средств численного моделирования демонстрируются на примере расчета шума, генерируемого сверхзвуковыми недорасширенными струями. Обсуждается влияние перепада давления на структуру струи, а также распределения газодинамических и акустических характеристик. Представленные средства численного моделирования задач вычислительной газовой динамики и вычислительной аэроакустики представляют собой инструменты решения исследовательских и инженерных задач, а также служат основой разработки новых методов и вычислительных алгоритмов.

22.06-01.28 Газодинамические и акустические характеристики струи, истекающей из конического сопла в затопленное пространство. Волков К.Н., Емельянов В.Н., Чернышов П.С. *Инженерно-физический журнал*. 2022. 95, № 2, с. 416-427. Рус.

Рассмотрено истечение дозвуковых и сверхзвуковых струй из конического сопла в затопленное пространство. Определено влияние перепада полного давления на входе в сопло и статического давления в окружающем пространстве на структуру такой струи и на распределения ее газодинамических и акустических параметров. Выполнены расчеты уровня шума струи в

дальнем поле. Проведено сравнение результатов численного моделирования с имеющимися экспериментальными и расчетными данными. Представленные средства численного моделирования задач вычислительной газовой динамики и аэроакустики могут быть использованы для решения исследовательских и инженерных задач, а также для разработки новых вычислительных алгоритмов.

См. также **22.06-01.23**

Излучение источников, импеданс, картины полей

22.06-01.29 Разработка математических моделей для исследования физических механизмов генерации тонального шума в авиационных турбомашин. *Александров В.Г., Осипов А.А. Теоретическая и прикладная газовая динамика. Труды ЦИАМ № 1341. Т. 1. М.: Торус ПРСС. 2010, с. 390-438. Рус.*

Разработаны две версии метода математического моделирования тонального звука, генерируемого в ступени осевой турбомашин (компрессора или вентилятора), на основе двумерного расчета нестационарного аэродинамического взаимодействия ротора и статора. Соответствующая расчетная процедура опирается на численное интегрирование уравнений нестационарного течения газа с помощью явной конечно-разностной схемы Годунова—Колгана—Родионова второго порядка точности по пространству и времени. Основным фактором, определяющим характеристики рассматриваемого ротор-статорного взаимодействия, является система кромочных следов, индуцируемых роторной решеткой при ее обтекании вязким потоком и воздействующих нестационарным образом на расположенную ниже по потоку статорную решетку. В рамках данной разработки для моделирования кромочных следов используются два различных подхода. В одном из них используется упрощенная процедура, которая заключается в искусственном инициировании в вязком потоке в некотором фронтальном сечении за роторной решеткой соответствующей периодической системы сдвиговых слоев, описываемых, например, известными по-эмпирическими соотношениями для стационарных автомодельных турбулентных кромочных следов за профилями решетки или определяемых по результатам расчета стационарного вязкого турбулентного обтекания роторной решетки на основе традиционного подхода RANS. Дальнейшая эволюция введенных таким образом кромочных следов при их натекании на статорную решетку описывается в рамках уравнений двумерного нестационарного течения с учетом «размазывания» следа за счет вязких сил трения. Второй подход опирается на численное интегрирование уравнений нестационарного турбулентного течения вязкого теплопроводного газа согласно технологии URANS, в которых для описания характеристик турбулентности потока используется однопараметрическая дифференциальная модель для турбулентной вязкости « v_t -90». Для радикального сокращения потребных вычислительных ресурсов и соответствующего увеличения быстродействия расчетной процедуры при описании процесса формирования роторных кромочных следов используются соотношения «закона стенки» Патанкара и Сполдинга для параметров потока в ламинарном подслое пограничного слоя на обтекаемой турбулентным потоком поверхности лопатки. Характеристики генерируемого в ступени акустического поля определяются на основе гармонического анализа нестационарного поля течения перед и за ступенью. Результаты проведенных тестовых расчетов характеристик тонального звука, генерируемого в ступени согласно данной модели, демонстрируют их удовлетворительную сходимость при измельчении сеточной дискретизации рассчитываемых полей течения.

22.06-01.30 Точное решение основного уравнения акустики для развивающейся по двум направлениям волны давления. *Бородин В.И., Лун-Фу А.В., Бубенчиков М.А., Бубенчиков А.М., Мамонтов Д.В. Вестн Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2021, № 79, с. 5-13. Рус.*

DOI: 10.17223/19988621/79/1 Для случая начального возму-

щения звукового давления в виде импульса Гаусса на оси трубы удалось записать точное решение задачи об эволюции осесимметричной волны давления. Решение позволяет вне зависимости от интенсивности звука сразу за поверхностью трубы определить характер распределения пространственной волны давления внутри и вне газовой трубы.

22.06-01.31 Моделирование измерительной спектроскопии комплексной проводимости пьезоэлектрических элементов. *Иванов Н.М., Кондаков Е.В., Милославский Ю.К. Гидроакустика. 2022, № 51, с. <https://www.oceanpribor.ru/docs/SbGA51.pdf>. Рус.*

Рассматривается моделирование цифрового метода измерения комплексной проводимости пьезоэлемента при его возбуждении широкополосным сигналом. Приводятся результаты численных расчетов. Ключевые слова: проводимость, импульсная характеристика, преобразование Фурье, сигнал с линейной частотной модуляцией.

См. также **22.06-01.22**

Численные методы, компьютерное моделирование

22.06-01.32 Моделирование течения возле наклонного обратного уступа BFS45 с помощью кода NOISEtte. *Дубень А.П., Козубская Т.К. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 126-127. Рус.*

Представлены результаты расчетов сверхзвукового турбулентного течения возле наклонного (угол 45°) обратного уступа (BFS45).

22.06-01.33 Расчет пульсаций давления на ракете космического назначения на этапе выведения. *Дубень А.П., Козубская Т.К., Рыбак С.П., Михайлов М.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 128-129. Рус.*

Одной из важных задач, связанных с разработкой ракет космического назначения (РКН) является оценка нестационарных пульсаций давления на ее поверхностях. На этапе выведения при трансзвуковых и сверхзвуковых режимах обтекания различные зоны вблизи важных внутренних и внешних составных частей РКН подвергаются воздействию повышенных пульсационных нагрузок. Возле ракеты образуется сложное турбулентное течение, характеризующееся наличием локальных отрывов потока и ударных волн, взаимодействующих со слоями смешения и с турбулентным пограничным слоем. Представлены результаты крупномасштабных расчетов турбулентных течений, возникающих на поверхности РКН на этапе выведения. Рассматриваются трансзвуковые и сверхзвуковые режимы обтекания (характерные числа Маха от 0.8 до 1.3, числа Рейнольдса — порядка 10^9). Численное моделирование проводится с помощью вихререзающего гибридного RANS-LES подхода.

22.06-01.34 Моделирование аэродинамики дельтовидного крыла на режиме посадки. *Дубень А.П., Козубская Т.К., Родионов П.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 130-131. Рус.*

Целью работы является валидация программного комплекса NOISEtte на задаче об обтекании дельтовидного крыла и применение протестированных моделей и методов для решения промышленных задач. Представлены результаты RANS и IDDES моделирования обтекания дельтовидного крыла, проведено сравнение с экспериментальными данными.

22.06-01.35 Численное моделирование восприимчивости сверхзвукового пограничного слоя на плоской пластине к пространственным акустическим возмуще-

ниям. *Егоров И.В., Пальчиковская Н.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 132-135. Рус.

Для сверхзвуковых течений явления, связанные с ламинарно-турбулентным переходом (ЛТП) стоят особенно остро, т.к. переход влияет не только на аэродинамическое качество летательного аппарата, но и ведет к резкому увеличению тепловых потоков к обтекаемой поверхности. В настоящее время активно разрабатываются физически обоснованные методы предсказания ЛТП, в которых учитываются все основные стадии процесса, включая стадию восприимчивости к возмущениям набегающего потока. Цель настоящей работы — изучение восприимчивости пограничного слоя на плоской пластине к внешним акустическим возмущениям, приводящим к возбуждению первой моды Мэка. Возбуждение этой моды моделировалось с помощью внешних акустических волн в трехмерной постановке.

22.06-01.36 Особенности методики численного трехмерного моделирования вязких многокомпонентных течений. *Жуков В.Т., Новикова Н.Д., Феодоритова О.Б. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 138-141. Рус.

Обсуждаются особенности численной модели расчета нестационарных течений вязкой теплопроводной многокомпонентной газовой смеси.

22.06-01.37 Валидация метода расчёта шума модельного несущего винта на основе проведенных экспериментов в заглушенной камере АК-2. *Зайцев М.Ю., Копьев В.А., Титарев В.А., Фараносов Г.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 142-146. Рус.

Работа представляет собой комплексное расчетно-экспериментальное исследование, направленное на создание научно-технического задела по определению аэроакустических характеристик винта винтокрылого летательного аппарата (ВКЛА). Основной целью работы являлась валидация (т.е. установление степени соответствия экспериментальным данным) разработанных в ЦАГИ программ расчета аэроакустических характеристик винтов (самолетных и несущих винтов вертолета). Проблема создания высокоэффективных валидированных методов расчета шума несущего винта вертолета, ориентированных на оценку влияния различных конструктивных параметров, предсказания которых можно напрямую использовать в процессе конструирования малошумных эффективных лопастей, является исключительно актуальной.

22.06-01.38 Численное моделирование восприимчивости сверхзвукового пограничного слоя к энтропийным и вихревым возмущениям. *Пальчиковская Н.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 228-230. Рус.

Ламинарно-турбулентный переход (ЛТП) в среде с низким уровнем возмущений связан с возбуждением неустойчивых нормальных мод с малыми начальными амплитудами. Эти моды экспоненциально растут до критической амплитуды в соответствии с линейной теорией устойчивости (LST) и вызывают нелинейный распад. Целостное моделирование этих стадий ЛТП обеспечивается прямым численным моделированием (DNS). Летательные аппараты (ЛА) движутся на крейсерском режиме, как правило, на малых положительных углах атаки. Явления, связанные с ЛТП на подветренной стороне ЛА, представляются чрезвычайно важными, но в то же время мало изученными. В работе рассматривается восприимчивость пограничного слоя к энтропийным и вихревым возмущениям в случае перехода с преобладанием второй моды.

22.06-01.39 Численное моделирование обтекания и относительного движения возвращаемого аппарата и крышки люка парашютного контейнера в процессе их разделения. *Слободянюк Д.М., Калугин В.Т., Михайлов М.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 239-240. Рус.

Представлены результаты численного моделирования процесса отделения элементов возвращаемых аппаратов с учетом аэродинамической интерференции при различных режимах полета с использованием программного комплекса FlowVision.

22.06-01.40 Применение схемы 16-го порядка при моделировании ламинарно-турбулентного перехода. *Толстыга А.И., Ширококов Д.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 242-243. Рус.

Обсуждаются спектральные характеристики схемы с мультиоператорными аппроксимациями 16-го порядка для уравнений Навье—Стокса сжимаемого газа. Применение этой схемы позволяет при разумных сетках описывать возбуждение и развитие неустойчивых мод, начальные данные для которых содержатся в малых отклонениях численных решений от точных, вызванных ее погрешностями аппроксимаций, а также погрешностями машинной арифметики.

22.06-01.41 Численное исследование особенностей распространения акустических возмущений по воздухозаборнику СТС и их излучению в дальнее поле. *Шорстов В.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 250-254. Рус.

Представляется начальный этап решения задачи моделирования шума двигателя сверхзвукового транспортно-самолета излучаемого через входное устройство (ВЗУ) и поиску возможностей снижения его вклада в общий шум самолета, а именно, определению эффективности распространения типичных возмущений вентилятора двигателя через ВЗУ в точки дальнего поля в зависимости от структуры возмущений.

22.06-01.42 Численное исследование влияния входной неравномерности потока на характеристики ступени вентилятора газотурбинного двигателя. *Батурин О.В., Горячкин Е.С., Зубанов В.М., Попов Г.М., Щербань А.И. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 261-265. Рус.

22.06-01.43 Численное решение уравнений метода нелинейных гармоник с использованием схем годуновского типа на неструктурированных сетках. *Бутаков О.Б.. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 266-267. Рус.

Приведены результаты тестовых расчетов, демонстрирующие высокую точность и эффективность предложенных разностных схем.

22.06-01.44 Проблемы численного моделирования шума винтовых движителей акустико-вихревым методом. *Тилмушев С.Ф., Торопылина Е.Ю., Мошков П.А., Яковлев А.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 291-295. Рус.

Авторы считают, что актуальной является задача разработ-

ки эффективных численных методов расчета аэроакустических характеристик различных типов винтовых движителей с целью обеспечения концепции акустического проектирования винтовых летательных аппаратов, т.е. по заданным акустическим параметрам. При этом возможности коммерческого программного обеспечения при решении данной задачи существенным образом ограничены. Представлено сравнение уровней звукового давления первой гармоники шума вращения для различных воздушных винтов в различных условиях эксперимента с расчетами по известным ранним теориям шума винта и численными расчетами на базе интегрального метода Фокса Вильямса—Хукинга (FW-H), реализованными в пакетах коммерческих программ SmartRotor и STAR-CCM+.

22.06-01.45 Итерационный метод решения трехмерного уравнения Гельмгольца с "почти аналитическим" предобусловливателем для моделирования акустических волновых полей в задачах сейсморазведки. Неклюдов Д.А., Сильвестров И.Ю., Чеверда В.А. Вычислительные методы и программирование. 2014. 15, № 3, с. 514-529. Рус.

Предложен подход к итерационному решению уравнения Гельмгольца в трехмерно-неоднородных средах для задач моделирования процессов распространения акустических волн, основанный на применении классического итерационного метода крыловского типа для несимметричных матриц с предобусловливателем. Отличительной чертой предлагаемого подхода является выбор предобусловливателя, в качестве которого мы используем решение трехмерного уравнения Гельмгольца с комплексным коэффициентом, зависящим от одной пространственной переменной (глубины). Одномерная скорость в предобусловливателе выбирается таким образом, чтобы наилучшим способом (в смысле наименьших квадратов) приблизить реальную трехмерно-неоднородную скоростную модель. Оператор Гельмгольца исходной задачи представляется как возмущение предобусловливателя. Как результат, умножение матрицы предобусловленной линейной системы на вектор может быть эффективно выполнено с помощью быстрых численных процедур, таких как двумерное быстрое преобразование Фурье и матричная прогонка. В предложенном подходе существует возможность не использовать конечно-разностные аппроксимации частных производных, что позволяет применять весьма редкую сетку при дискретизации задачи. Численные эксперименты показывают, что этот подход позволяет весьма эффективно рассчитывать волновые поля в частотной области в трехмерно-неоднородных средах с умеренными латеральными вариациями скорости.

22.06-01.46 Аппроксимационный алгоритм обработки звуковых точек в схеме "Кабаре". Головизнин В.М., Соловьев А.В., Исаков В.А. Вычислительные методы и программирование. 2016. 17, № 2, с. 166-176. Рус.

Описана новая вычислительная технология расчета потоковых переменных на новом временном слое в разностных схемах типа «Кабаре» для численного решения квазилинейных гиперболических уравнений в частных производных. Новая технология позволяет единообразно рассматривать все случаи возникновения звуковых точек и не нарушает свойства временной обратимости разностных схем при отсутствии нелинейной коррекции потоков.

22.06-01.47 Моделирование взаимодействия ударной волны с ограниченным неоднородным слоем газозвеси гибридным методом крупных частиц. Садин Д.В., Голиков И.О., Давидчук В.А. Вычислительные методы и программирование. 2021. 22, № 1, с. 1-13. Рус.

Исследуются задачи взаимодействия ударной волны с ограниченным слоем газозвеси, внутри которого имеется неоднородность квадратного сечения пониженной или повышенной плотности. Для расчетов используется гибридный метод крупных частиц второго порядка аппроксимации по пространству и времени. Правильность численных разрывных решений, в частности скачков пористости, подтверждается сравнением с асимптотически точными профилями плотности смеси. Приведены аналитические зависимости ослабления ударной волны слоем газозвеси. Изучены ударно-волновые структуры в двумерных

областях и влияние на них релаксационных процессов.

См. также **22.06-01.18, 22.06-01.19, 22.06-01.22, 22.06-01.27, 22.06-01.28, 22.06-01.29**

Методы измерений и инструменты

22.06-01.48 К разработке методики определения параметров потока в импульсных аэродинамических трубах. Громько Ю.В., Цырюльников И.С., Маслов А.А. Теплофиз. и аэромех. 2022, № 5, с. 695-708. Рус.

Рассмотрены существующие подходы к определению параметров потока в рабочей части импульсных аэродинамических труб и намечены пути их совершенствования. Разработан алгоритм расчета параметров потока в сверхзвуковых высокоэнтуальпийных аэродинамических трубах кратковременного действия с использованием экспериментальных значений давления в форкамере, полного давления за прямым скачком, скорости и температуры торможения потока в зависимости от времени. Показано, что результаты измерений и расчетов, полученные с помощью данного алгоритма определения параметров потока, хорошо согласуются с расчетами параметров потока, выполненными на основе газодинамических соотношений с учетом тепловых потерь в рабочем тракте аэродинамической трубы.

См. также **22.06-01.31**

Колебания распределенных систем, вибрации, структурная акустика

22.06-01.49 Повышение чувствительности и расширение функциональной возможности биполярного анализа вибрации роторных машин. Сундуков А.Е., Шахматов Е.В. Вестник Самарского ун-та. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2022. 21, № 1, с. 91-98. Рус.

Виброакустическая диагностика дефектов роторных машин является наиболее эффективным методом неразрушающего контроля их технического состояния. Практика показывает, что достижение успеха её применения во многом определяется набором располагаемых методов анализа вибрационных процессов. Наиболее широко распространёнными и нагруженными их узлами являются зубчатые зацепления, которые во многом определяют общее вибрационное состояние машины. Набор методов вибродиагностики дефектов зубчатых зацеплений достаточно разнообразен. Среди них интересен способ биполярного анализа, заключающийся в раздельном исследовании положительной и отрицательной частей вибрационного сигнала с последующим построением диагностического признака в виде разности, отношений и др. Способ направлен на оценку качества сборки редукторов по положению пятна контакта. Недостатком способа является ограниченная область использования и невысокая чувствительность. В работе показано, что использование максимумов широкополосной вибрации при применении биполярного анализа в вибродиагностике дефектов роторных машин существенно повышает его эффективность. На примере износа боковых поверхностей зубьев пары «солнечная шестерня—сателлиты» и величины бокового зазора в дифференциальном редукторе турбовинтового двигателя установлено, что это обеспечивается за счёт роста чувствительности метода и расширения его функциональных возможностей. При анализе использовалась статистика редукторов с разной степенью износа боковых поверхностей зубьев и отремонтированных редукторов с разной величиной бокового зазора. При этом можно использовать широкий набор известных диагностических признаков: интенсивность n -мерных векторов информативных рядов, параметры отдельных гармоник, глубину амплитудной модуляции, вероятностные характеристики в выбранных частотных полосах, безразмерные дискриминанты, кепстр и др. В работе приведены некоторые примеры из этих методов.

22.06-01.50 Ограниченные цилиндрическим отбойником изгибные колебания стоянного тяжелого горизонтального вращающегося вала. Пестренкин В.М., Пестренина И.В., Перельман О.М., Фадейкин А.С.,

Держач Н.Д. *Вестн Том. гос. ун-та. Математика и механика.* 2021, № 79, с. 135-151. Рус.

DOI: 10.17223/19988621/79/12 На основе балочной модели горизонтального составного вала изучается влияние на характер его движения скорости вращения, сил тяжести, демпфирования и дисбаланса. Исследования проводятся численно. Показано, что силы тяжести приводят к смещению линии центров тяжести сечений вала, относительно которой он вращается, демпфирование обуславливает центрирование вала, наличие дисбаланса вызывает изгибные колебания. Изучены режимы движения вала внутри цилиндрического отбойника.

22.06-01.51 Вращательное и поступательное галопирование призм в воздушном потоке. **Рябинин А.Н., Бобу Ю.Э.** *Журнал технической физики.* 2022. 92, № 12, с. 1787-1793. Рус.

В экспериментах в аэродинамической трубе изучены колебания трех призм с прямоугольным поперечным сечением. Призмы располагаются перпендикулярно вектору скорости набегающего потока и с торцов снабжены концевыми шайбами, ограничивающими протекание воздуха. Упругая подвеска позволяет колебаться телам с шестью степенями свободы. Оказалось, что под действием воздушного потока возникают два режима колебаний тел: поступательные колебания в направлении, перпендикулярном образующей призматических тел и скорости потока, и вращательные колебания вокруг оси, которая параллельна образующей, проходит через центр призмы и перпендикулярна скорости набегающего воздушного потока. Тензометрическим методом в процессе колебаний измерено натяжение двух пружин, входящих в упругую подвеску. Калибровочный эксперимент позволил связать амплитуды колебаний натяжения пружин и сдвиг фаз с амплитудами вращательных и поступательных колебаний призм. Оказалось, что призма с отношением высоты к ширине поперечного сечения 0.22 в потоке подвержена вращательным колебаниям. Увеличение отношения высоты к ширине до 0.36 ведет к уменьшению амплитуды вращательных колебаний и появлению поступательных. Диапазоны существования вращательных и поступательных колебаний перекрываются. Дальнейшее увеличение отношения высоты к

ширине до 0.43 сопровождается интенсивным поступательным галопированием. Ключевые слова: галопирование, плохо обтекаемое тело, аэродинамическая труба, тензометрический датчик, поступательные колебания, вращательные колебания.

Волны в многофазных, пористых, резиноподобных средах, полимерах

22.06-01.52 Численное моделирование распространения акустических волн в двухфазных средах с переменной пористостью. **Жилейкин Я.М., Осипик Ю.И., Пушкина Н.И.** *Вычислительные методы и программирование.* 2011. 12, № 3, с. 379-383. Рус.

Исследуется распространение акустических волн конечной амплитуды в двухфазных пористых средах типа морских осадков. Реализованные конечно-разностные методы позволяют дать количественное и качественное описание акустических процессов, представляющих практический интерес.

22.06-01.53 Отражение и преломление гармонических волн на границах пористой среды, насыщенной пузырьковой жидкостью. **Гималтдинов И.К., Ситдикова Л.Ф.** *Инженерно-физический журнал.* 2022. 95, № 6, с. 1371-1380. Рус.

Теоретически исследовано отражение и прохождение акустических волн на границе раздела между водой и пористой средой, насыщенной пузырьковой жидкостью, и границе раздела между пористой средой, насыщенной пузырьковой жидкостью, и водой при нормальном падении этих волн на указанные границы. Показано, что существует диапазон частот, для которого отражение акустических волн от границы раздела вода—пористая среда, насыщенная пузырьковой жидкостью, аналогично отражению этих волн от свободной поверхности, а для отражения акустических волн от границы раздела насыщенная пузырьковой жидкостью среда—вода аналогично отражению от жесткой стенки. Ключевые слова: звуковая волна, пористая среда, коэффициент отражения, коэффициент прохождения.

См. также **22.06-01.29**

Нелинейная акустика

Теория нелинейных акустических волн

22.06-01.54 Нелинейная трансформация короткопериодных волн в стратифицированном море. **Талипова Т.Г., Рувинская Е.А., Куркина О.Е., Пелиновский Е.Н.** *Экологические системы и приборы.* 2022, № 10, с. 67-77. Рус.

Изучено образование короткопериодных внутренних волн из длинной одиночной волны большой амплитуды в рамках уравнения Гарднера. Проанализирована эволюция волн малой массы и энергии. Исследованы сценарии генерации солитонов и бризеров из начального импульса большой массы и энергии. Полученные решения полезны для понимания механизмов образования мелкомасштабной турбулентности в океане. Ключевые слова: внутренние волны, уравнение Гарднера, бризеры, солитоны.

22.06-01.55 Гидрологические условия и эпизоды наблюдений внутренних волн в Балтийском море в сентябре 2019 г. **Кожоулина М.В., Куркина О.Е., Рувинская Е.А., Куркин А.А.** *Экологические системы и приборы.* 2022, № 10, с. 78-90. Рус.

Проанализированы гидрологические условия в центральной Балтике в сентябре 2019 г. по данным экспедиционных исследований. На основе этих данных проведены расчеты теоретических бароклинных вертикальных мод, построены дисперсионные зависимости внутренних гравитационных волн, оценены их фазовые и групповые скорости, определены характеристики внутренних волновых пучков. Показано, что измеренные на двух горизонтах, соответствующих положениям резких скачков

плотности, временные ряды колебаний физических полей (температуры, солёности, давления), обусловленных распространяющимися внутренними волнами с амплитудами смещений изолиний плотности морской воды до 6–8 м на верхнем пикноклине, имеют существенную взаимную корреляцию. Ключевые слова: стратификация морской воды, внутренние волны, натурные данные, дисперсионные зависимости, вертикальные моды, Балтийское море.

22.06-01.56 Стабилизация колебаний управляемой обратимой механической системы. **Тзай В.Н.** *Автоматика и телемеханика.* 2022, № 9, с. 94-108. Рус.

DOI: 10.31857/S0005231022090057.

22.06-01.57 Акустические поля и радиационные силы, создаваемые стоячей поверхностной волной в слоистых вязких средах. **Гусев В.А., Жарков Д.А.** *Акустический журнал.* 2022. 68, № 6, с. 589-604. Рус.

Рассчитаны поля, амплитудные и дисперсионные характеристики поверхностной акустической волны в системах: “вязкое жидкое полупространство—твердое полупространство” и “слои вязкой жидкости—упругое полупространство” с учетом сдвиговых компонент в жидкости. Рассчитано результирующее радиационное давление, возникающее в слое вязкой жидкости со стороны стоячей поверхностной волны и действующее на элемент ее объема за счет нелинейности уравнений движения в одномодовом и двухмодовом режимах. Показано, что наличие вязкости приводит к нарушению строгой периодичности и симметричности полей радиационных сил и акустических течений. Сдвиговые компоненты вызывают локализованные в узкой приграничной области, но значительные по ве-

личине силы радиационного давления. Возбуждение в системе нескольких волновых мод создает предпосылки для создания сложных пространственных распределений полей радиационных сил. Управляя частотой волны и толщиной слоя, можно добиться либо преобладания поля одной моды, либо сопоставимого вклада нескольких мод. В окрестности волнового резонанса преобладает основная мода.

Нелинейная акустика твердых тел

22.06-01.58 Метод диффузной границы для сопряженных задач аэродинамики и динамики твердого тела. *Меньшов И.С.* *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 218-222. Рус.

Предлагается новый альтернативный подход к решению классических задач течения сжимаемой жидкости около стационарных (фиксированных в пространстве) и движущихся тел. В отличие от стандартного подхода, который опирается на такие понятия как геометрия поверхности твердого тела, уравнения газовой динамики в области течения, начальные и краевые условия, предлагаемый подход базируется на цифровом представлении геометрии, осредненных уравнениях, действующих во всем пространстве, и не требует постановки краевых условий (за исключением условий на бесконечности).

Отражение, дифракция, рефракция, рассеяние интенсивных волн

См. **22.06-01.23**

Акустические течения и радиационное давление

22.06-01.59 Об аналогии течения Куэтта в кольцевом и полукольцевом каналах. *Зиновьев В.Н., Лебига В.А., Миронов Д.С., Пак А.Ю.* *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 147-150. Рус.

Одним из простейших классических течений является течение между коаксиальными цилиндрами, впервые предложенное и использованное Куэттом для определения вязкости жидкости. Изучению течения Куэтта в кольцевом канале, ввиду его важности для практики, уделяется много внимания, имеются многочисленные результаты, полученные теоретическими, вычислительными методами, требующими верификации.

22.06-01.60 Учет термовязких граничных условий в вычислительных задачах акустики. *Корольков А.И., Шанин А.В.* *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 185-186. Рус.

См. также **22.06-01.26**, **22.06-01.57**

Нелинейные диспергирующие волны, солитоны

См. **22.06-01.54**, **22.06-01.55**

Методы измерений и инструменты нелинейной акустики

См. **22.06-01.27**, **22.06-01.28**

Физическая акустика

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

22.06-01.61 Возмущения модальных коэффициентов затухания и групповых скоростей, вызванные вариациями глубины вдоль акустической трассы в мелком море. *Захаренко А.Д., Петров П.С.* *Акустический журнал.* 2022. 68, № 6, с. 618-624. Рус.

Рассмотрено возмущение коэффициентов затухания и групповых скоростей акустических мод в волноводе мелкого моря с неоднородным рельефом дна. Построены явные формулы для расчета первых и вторых производных указанных величин по глубине моря, основанные на теории возмущений, разработанной в предыдущих работах авторов. Применение полученных формул проиллюстрировано в модельном примере. Показано, что они позволяют с высокой точностью аппроксимировать зависимость групповых скоростей и модальных коэффициентов затухания от глубины моря. Предложенные формулы могут использоваться для получения простых аналитических оценок потерь при распространении звука в нерегулярных волноводах, а также для учета неоднородностей рельефа дна при выполнении геоакустической инверсии по данным о волноводной дисперсии сигнала.

См. также **22.06-01.25**, **22.06-01.47**

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

См. **22.06-01.57**

Плазменная акустика

22.06-01.62 Вибрационное горение, задачи и методы исследования. *Стоник О.Г., Гешеле В.Д., Ковалев С.А., Раскатов И.П., Козлова А.А.* *Инженерно-физический журнал.* 2022. 95, № 5, с. 1302-1310. Рус.

Проведен обзор литературных данных и их анализ. С учетом анализа современного состояния исследований разработана методика экспериментального исследования горения твердых топлив. Система диагностики позволила измерять скорость выгорания топлива, амплитуду и частоту пульсаций давления газа в трубе Рийке. Разработана теоретическая модель вихревых колебаний пламени при вибрационном горении. Ключевые слова: вибрационное горение, автоколебание, акустическое излучение, интенсивность горения, амплитуда, частота, твердое топливо.

Акустика вязкоупругих материалов

См. **22.06-01.60**

Наноакустика, акустика тонких пленок и капель с наночастицами

22.06-01.63 Нелинейные монополюсное и дипольное акустические излучения слабо заряженной капли, осциллирующей в однородном электростатическом поле. *Григорьев А.И., Колбнева Н.Ю., Ширяева С.О.* *Прикл. мат. и мех.* 2022. 86, № 6, с. 938-957. Рус.

В асимптотических расчетах второго порядка малости по малой безразмерной амплитуде осцилляций капель естественного происхождения в материальной среде во внутриоблачном или

приземном электрическом поле показывается, что среди прочих мод возбуждаются нулевая и первая моды осцилляций капли, не имеющие места в расчетах первого порядка малости. Рассчитывается интенсивность акустического излучения от них. Расчеты проводятся на модели идеальной несжимаемой электропроводной жидкости. Показано, что интенсивность монополярного акустического излучения от капли на шесть порядков более интенсивно, чем дипольного. Интенсивность монополярного излучения в используемом квадратичном по безразмерной амплитуде осцилляций приближении не зависит от радиуса капли и напряженности внешнего электростатического поля, интенсивность дипольного излучения от радиуса капли зависит существенно. Зависимость от напряженности внешнего электростатического поля появляется лишь в третьем порядке малости. Акустическое излучение от осциллирующих дождевых капель идет в слышимом диапазоне частот, а от облачных капель и капель тумана — в ультразвуковом диапазоне. Временная зависимость акустического излучения как монополярного так и дипольного от капли при начальном возбуждении конечного отрезка сплошного спектра мод имеет вид биений.

Поверхностные волны в твердых телах и жидкостях

22.06-01.64 О гиперболическом уравнении для волн Рэлея. *Каплунов Ю.Д., Приказчиков Д.А., Сабирова Р.Ф. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2022. 506, № 2, с. 56-59. Рус.

DOI: 10.31857/S2686740022070057.

22.06-01.65 Быстрый численный расчет параметров поверхностных акустических волн Рэлея для модели связанных мод. *Койгеров А.С., Бальшева О.Л. Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника.* 2022. 65, № 6, с. 67-79. Рус.

Введение. Важнейшим этапом разработки устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ) является математическое моделирование. Успешно применяемые в последние годы компьютерные пакеты моделирования позволяют существенно сократить время и повысить точность расчета характеристик при проектировании. Для быстрого анализа рабочих характеристик проектируемых акустоэлектронных приборов необходимо знание основных параметров акустических волн, распространяющихся в материалах подложек устройств. Цель работы. Предложение и апробация, на примере анализа волн Рэлея методом конечных элементов, методики расчета ключевых параметров, необходимых для моделирования ПАВ-устройств на основе модели Р-матриц и модели связанных мод. Материалы и методы. Теоретическая часть работы выполнялась с применением математической теории дифференциальных уравнений, использовалось матричное описание и метод конечных элементов. В ходе работы применялась математическая обработка в программах MatLab и COMSOL. Результаты. Разработана оригинальная методика извлечения параметров ПАВ для модели связанных мод на основе быстрого алгоритма, реализованного в пакете COMSOL. Сравнение результатов расчета таких параметров, как коэффициент электромеханической связи, скорость распространения акустической волны по поверхности подложки, с известными данными из литературных источников показало хорошее совпадение. На основе извлеченных параметров спроектирован ряд трансверсальных фильтров. Выполнено сопоставление результатов расчета и экспериментальных измерений коэффициента передачи. Заключение. Предложенная методика анализа бесконечных периодических электродов методом конечных элементов на основе анализа собственных частот и статического анализа позволила рассчитать основные параметры волн Рэлея в традиционных подложках ниобата лития, танталата лития и кварца. Практическая значимость состоит в использовании полученных параметров при разработке различных классов акустоэлектронных устройств.

Акустоэлектроника

22.06-01.66 Исследование влияния количества лопаток статора на структуру широкополосного и тонально-

го шума вентилятора ТРДД с использованием зонного RANS-LES подхода. *Шорстов В.А., Макаров В.Е. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Десятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 296-300. Рус.

Работа посвящена сравнительному расчетному анализу структуры тонального и широкополосного шума ротор—статор взаимодействия двух вариантов модельной ступени вентилятора ТРДД со степенью двухконтурности ~ 8 , имеющих одинаковый ротор с 22 лопатками (прототип рабочего колеса вентилятора двигателя GE90), но разный статор с существенно разным числом лопаток (54 и 26), экспериментально исследованных в рамках программы NASA SDT (2001—2002 гг.).

22.06-01.67 Акустооптический фильтр пространственных частот, оперирующий в промежуточной области акустооптического взаимодействия. *Котов В.М., Аверин С.В., Карачевцева М.В., Яременко Н.Г. Оптический журнал.* 2022. 89, № 1, с. 54-62. Рус.

Исследованы характеристики акустооптического фильтра пространственных частот, предназначенного для обработки двумерных изображений и работающего в промежуточной области акустооптической дифракции. Достоинством таких фильтров по сравнению с фильтрами, работающими в брэгговском режиме, является возможность работы на значительно более низких частотах звука, что позволяет увеличить полосу пропускания пространственных частот и уменьшить предельное разрешение. Получены передаточные функции дифракционных порядков. Показано, что использование первого дифракционного порядка позволяет выделять двумерный контур изображения. Экспериментально продемонстрировано выделение контура изображения, переносимого оптическим излучением на длине волны излучения $0,63 \cdot 10^{-4}$ см с использованием акустооптического пространственного фильтра из TeO_2 , работающего на частоте 15 МГц.

22.06-01.68 Исследование высокочастотных акустических резонансов оптико-акустического детектора с дифференциальными резонаторами Гельмгольца. *Распопин Г.К., Макашев Д.Р., Борисов А.В., Кистнев Ю.В. Оптика и спектроскопия.* 2022. 130, № 6, с. 826-831. Рус.

Численно исследованы акустические резонансы оптико-акустического детектора (ОАД) с дифференциальными цилиндрическими резонаторами Гельмгольца при вариации их основных параметров. Получены и проанализированы зависимости добротности акустического резонанса и резонансной частоты от геометрических параметров ОАД. Полученные результаты представляют интерес для разработки оптико-акустических газоанализаторов. Ключевые слова: лазерный газоанализ, оптико-акустический детектор, компьютерное моделирование.

22.06-01.69 Формирование контрастных изображений заданных объектов акустооптическим гиперспектрометром путем выборочной спектральной регистрации. *Шипко В.В., Самойлин Е.А., Пожар В.Э., Мачихин А.С. Оптика и спектроскопия.* 2022. 130, № 10, с. 1603-1610. Рус.

Представлена методика выбора положения наиболее информативных спектральных каналов при использовании акустооптического гиперспектрометра в режиме выборочной спектральной регистрации. Разработанная методика позволяет выбрать спектральные каналы, в которых наблюдается максимальный контраст объектов на некотором фоне при условии, что спектральные свойства их известны. Результаты экспериментальных исследований методики подтверждают повышение контраста по сравнению с пахроматическим и с гиперспектральными режимами съемки во всем оптическом диапазоне. Выбор спектральных каналов по представленной методике может быть использован как для формирования функций пропускания в многооконном акустооптическом гиперспектрометре, так и для быстрого формирования высококонтрастных цветосинтезированных изображений. Ключевые слова: гиперспектральные изображения, спектральный контраст, цифровая об-

работка изображений, акустооптический фильтр, спектральная плотность энергетической яркости.

22.06-01.70 Электровзвукковые волны в РТ-симметричной структуре пьезоэлектриков вблизи особой точки. *Вилков Е.А., Бышевский-Конопко О.А., Темная О.С., Калябин Д.В., Никитов С.А.* Письма в Журнал технической физики. 2022. 48, № 24, с. 38-41. Рус.

Теоретически исследованы спектральные свойства щелевых электровзвукковых волн в РТ-симметричной структуре пьезоэлектриков класса симметрии 6, разделенных зазором. Установлено, что при определенном уровне потерь и усиления в пьезоэлектриках происходит пересечение симметричной и антисимметричной мод. Точка пересечения определяет особую точку РТ-симметричной структуры. Показано, что зависимость амплитуды от частоты в особой точке имеет экстремально узкий резонансный пик, что открывает возможность создания сверхчувствительных датчиков на основе РТ-симметричных физических структур. Ключевые слова: РТ-симметрия, пьезоэлектрик, электровзвукковые волны, щелевая структура.

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

22.06-01.71 Использование модуляционной акустооптической спектрометрии для определения местоположения спектральных особенностей в перекрывающихся спектрах. *Воритко С.В., Иванов С.И., Карандин А.В.* Журнал радиоэлектроники. 2021, № 11, с. 6. Рус.

Спектрометр не способен безошибочно определить спектральные положение меньшего максимума, если он расположен на фоне мощного широкого пика. Решение проблемы известно: достаточно продифференцировать имеющуюся зависимость, и положение меньшего пика определяется с достаточной точностью. На базе квазилинейной акустооптической ячейки был создан макет спектрометра, позволяющего регистрировать как спектр оптического сигнала, так и его производную, причем в реальном масштабе времени. В ходе проведения работ было проведено более детальное исследование работы созданного макета: программно менялась величина фазового сдвига от 0 до 360°, а пространственный период модуляции — от 0 до длины АО ячейки L . В качестве источника излучения использовалась неоновая лампа и все приведенные данные были получены для одной и той же линии излучения. Максимальный сигнал для производной соответствует значениям фазы 90 и 270°. В другой серии экспериментов была исследована работа макета при изменении периода модуляции (фазовый сдвиг фиксирован, $\psi = \pi/2$). Максимальный сигнал для производной соответствует значениям длительности периода модуляции равной $L/2$, т.е. половине длины акустооптической ячейки. Графики результатов "физического" и "математического" дифференцирования не совпадают. Мы предполагаем, что различия связаны с формой аппаратной функции акустооптического спектрометра. Однако, на вершинах спектральных пиков, т.е. в районах пересечения производных с нулевой линией результаты совпадают, что позволяет использовать акустооптическое дифференцирование для выявления "тонкой структуры" оптических спектров, причем в реальном масштабе времени. Таким образом, в результате проведенных работ: предложен метод точного определения положения спектральных максимумов в сложных перекрывающихся спектрах в реальном масштабе времени; создана приборная реализация предложенного метода и показано, что для видимого диапазона (532 нм) точность определения спектрального положения максимумов составляет 0,2 нм.

22.06-01.72 Биологический датчик на основе акустической щелевой моды с использованием микробных клеток для определения ампициллина. *Бородин И.А., Зайцев Б.Д., Алсовэиди А.К.М., Караваяева О.А., Гулий О.И.* Акустический журнал. 2022. 68, № 6, с. 583-588. Рус.

Представлен биологический датчик для определения ампициллина в проводящих растворах. Датчик создан на основе акустической щелевой моды в структуре, состоящей из двух

пьезопластин ниобата лития различных срезов, разделенных воздушным зазором. Одна из пьезопластин служила дном жидкостного контейнера, в который вносилась суспензия микробных клеток, чувствительных к изучаемому антибиотику. Изменялась глубина резонансных пиков на частотной характеристике полных потерь датчика. После этого в контейнер добавлялся исследуемый антибиотик, и измерения повторялись. Аналитическим сигналом, свидетельствующим о появлении антибиотика в суспензии клеток, служило изменение глубины резонансных пиков после его добавления в контейнер.

22.06-01.73 Влияние электропроводности пленки на характеристики акустического резонатора с радиальным возбуждающим электрическим полем. *Теплых А.А., Зайцев Б.Д., Семёнов А.П., Бородин И.А.* Акустический журнал. 2022. 68, № 6, с. 605-610. Рус.

Приведены результаты исследования влияния электрической проводимости тонкой пленки, нанесенной на торец резонатора с радиальным возбуждающим электрическим полем или находящейся в непосредственной близости от него, на характеристики резонатора. Рассмотрено три ситуации: проводящая пленка отсутствует, пленка нанесена непосредственно на торец резонатора и пленка находится на небольшом расстоянии от свободного торца резонатора. Во всех трех случаях рассчитан и измерен электрический импеданс резонатора в широком частотном диапазоне 1–1500 кГц. Впервые проведено уточнение материальных констант пьезокерамики для свободного и закороченного резонатора и показано, что эти константы совпадают между собой с хорошей точностью. Показано, что уменьшение толщины резонатора и увеличение зазора между электродами увеличивает его чувствительность к присутствию проводящей пленки на небольшом расстоянии от торца резонатора.

22.06-01.74 Выявление нарушений укладки слоев волокон в углеродных волокнах методом широкополосной акустической спектроскопии. *Соколовская Ю.Г., Подымова Н.В., Карabutov А.А.* Дефектоскопия. 2022, № 11, с. 27-36. Рус.

Показана возможность обнаружения нарушений укладки слоев армирующей ткани в углеродных волокнах, представляющих собой зазоры между лентами углеродных волокон. Для этой задачи использовалась широкополосная акустическая спектроскопия с лазерным источником ультразвука. Широкая полоса частот зондирующего сигнала позволяет получить частотные зависимости для коэффициента затухания продольных ультразвуковых волн в углеродном волокне в спектральном диапазоне 1–11 МГц. На примере исследованной стрингерной панели показано, что в областях с наличием зазоров наблюдается локальный минимум внутри резонансного максимума коэффициента затухания, вызванный нарушением периодичности структуры. Сканирование объекта вдоль поверхности позволяет определять направление данных зазоров в плоскости укладки углеродной ткани.

См. также 22.06-01.25, 22.06-01.67, 22.06-01.68, 22.06-01.69

Термоакустика, высокотемпературная акустика, фотоакустический эффект

22.06-01.75 Уравнения колебаний газа в канале кольцевого сечения с продольным градиентом температур. *Воротников Г.В., Зиновьев Е.А., Некрасова С.О.* Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2022. 22, № 2, с. 111-122. Рус.

При выборе конструктивно-компоновочной схемы термоакустического преобразователя к особым требованиям относят размещение теплообменников в зонах подвода и отвода тепла. Наиболее перспективными в этом плане являются коаксиальные схемы с соосным расположением (труба в трубе) каналов акустического тракта. Такие конструктивные особенности ставят свои оптимизационные задачи. Для их решения необходимо выявить особенности изменения динамических параметров осциллирующего газа в условиях акустической волны. В представленной работе получено линейное дифференциальное уравнение второго порядка для осцилляционного давления в канале кольцевого сечения при наличии постоянного продольного тем-

пературного градиента на основании линеаризованных уравнений механики сжимаемой среды, которое не зависит от других динамических параметров. Решение уравнения позволяет представить выражения динамических параметров колебаний газа, таких как скорость, плотность, температура, как функции динамического давления. Показано, что полученное уравнение является более общим случаем уравнения Ротта, полученного

для канала круглого сечения при тех же условиях. Уравнения динамических параметров, полученные в данной работе, применяются к измерениям распределения акустической мощности в термоакустическом преобразователе и позволяют моделировать линейные акустические процессы в коаксиальных каналах термоакустических устройств.

См. также **22.06-01.62**

Акустика океана, гидроакустика

См. **22.06-01.17**

Акустика мелкого моря

22.06-01.76 Особенности формирования акустического поля воздушного источника в мелком водоеме с газонасыщенным слоем осадков. Гончаренко В.И., Павловский А.А., Шуруп А.С. *Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия.* 2022, № 5, с. 84-90. Рус.

Проведено численное исследование влияния газонасыщенного слоя в дне на формирование акустического поля воздушного источника в водном слое мелкого водоема. Анализ скалярно-векторной структуры звукового поля в волноводах с различными параметрами показал, что при наличии воздушного звукового источника, в водном слое на низких частотах формируется интерференционная структура звукового поля, характер которой зависит от наличия газонасыщенного слоя в дне. Интерференционная структура содержит последовательность локализованных минимумов, в которых наблюдаются вихри потока акустической мощности, пространственное распределение которых определяется параметрами волновода. С одной стороны, это ограничивает возможности восстановления угла места на воздушный источник при измерении акустического поля в водном слое в случае неизвестного дна. С другой стороны, открываются возможности оценки параметров дна на основе анализа скалярно-векторной структуры акустического поля, формируемого в водном слое контролируемым воздушным источником.

См. также **22.06-01.61**

Статистическая гидроакустика

22.06-01.77 Фильтрация натуральных данных для численного моделирования трехмерных турбулентных течений с применением подхода LES. Сузинов А.И., Проценко С.В., Проценко Е.А. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика.* 2022, 14, № 4, с. 40-51. Рус.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14529/mmph220406> Турбулентность и последующее перемешивание являются важными механизмами, определяющими динамику прибрежной зоны, перенос импульса, массы и тепла. В работе мелкомасштабное движение исключается из уравнений Навье—Стокса при помощи применения операции фильтрации и моделируется с использованием подсеточных моделей. Для этого в двумерном и трехмерном случаях применены различные виды фильтров: коробочный фильтр, фильтр Гаусса и фильтр Фурье, с постепенным уменьшением ширины фильтра, что позволяет воспроизвести более широкий частотный диапазон флуктуаций решения. Процедуре фильтрации подвержены натурные данные, полученные в ходе экспедиции в Центрально-Восточной части Азовского моря и в Таганрогском заливе на НИС «Денеб» Южного научного центра РАН. Для измерения трехмерного вектора скорости движения водной среды использовался гидрофизический ADCP-зонд Workhorse Sentinel 600, с помощью которого получено более 3 000 000 исходных измерений, в каждой точке (на каждой станции, которых 17) — более 150 000. Полученные данные планируется использовать для численного моделирования трехмерных турбулентных течений с применением подхода LES и сопоставления с результатами осреднения по RANS. В статье рассмотрены возможности применения различных ти-

пов аппроксимаций для параметризации вертикального турбулентного обмена. Проведено сравнение алгебраических моделей расчета коэффициента вертикального турбулентного обмена и полуэмпирических моделей турбулентности.

22.06-01.78 Влияние межмодовых корреляций на эффективность пространственной обработки акустических сигналов в океаническом волноводе со взволнованной поверхностью. Раевский М.А., Бурдуковская В.Г. *Акустический журнал.* 2022, 68, № 6, с. 625-637. Рус.

Исследуется влияние межмодовых корреляций на эффективность пространственной обработки сигнала в океанических волноводах со взволнованной поверхностью. Предложен алгоритм расчета корреляционной матрицы сигнала на апертуре горизонтальной антенной решетки (АР), учитывающий интерференционную структуру акустического поля в звуковом канале. Коэффициент усиления антенны анализируется для трех методов пространственной обработки: стандартного метода ФАР, метода оптимальной линейной обработки и метода оптимальной квадратичной обработки. Приведены результаты численного моделирования для гидрологических условий Баренцева моря в зимний период. Основное внимание уделяется интерференционным осцилляциям коэффициента усиления АР и зависимости от параметров задачи его значений, “сглаженных” на масштабе интерференционной структуры акустического поля в волноводе.

22.06-01.79 Локализация источника в переменном по трассе волноводе в условиях неполной информации о пространственной изменчивости среды распространения. Сазонтов А.Г. *Акустический журнал.* 2022, 68, № 6, с. 689-696. Рус.

Рассмотрена задача о локализации акустического источника в переменном по трассе волноводе, в котором происходит взаимодействие нормальных волн, приводящее к связи между их амплитудами. Для рассматриваемого сценария построен адаптивный алгоритм пониженного ранга, учитывающий отличие ожидаемой реплики сигнала от истинной и не требующий знания соответствующих элементов матрицы связи. Путем статистического моделирования установлено, что реализованный способ оценивания дает значительное преимущество как в точности измерения координат, так и в достигаемой с его помощью вероятности правильной локализации по сравнению с традиционным методом MUSIC, не учитывающим эффекты взаимодействия мод.

22.06-01.80 Условия применимости методов пространственной локализации источника в подводном звуковом канале. Консон А.Д., Лободин И.Е., Волкова А.А. *Гидроакустика.* 2022, № 51, с. <https://www.oceanpribor.ru/docs/SbGA51.pdf>. Рус.

Рассмотрена возможность получения информации о пространственной локализации источника широкополосного сигнала с использованием вертикально развитой антенны в подводном звуковом канале, когда свойства среды в различной степени стратифицированы на разных глубинах в пределах апертуры антенны. Проведено компьютерное моделирование в условиях реального подводного звукового канала в Черном море в летний период, которое дополнено натурными работами, проведенными в Средиземном море в осенний период. Показано, что в условиях существенной стратификации среды в окрестности вертикальной размерности антенны можно иметь различную

передаточную функцию от наблюдаемого источника для распределенных элементов антенны. С другой стороны, если вертикальные размеры антенны таковы, что в этих пределах среда может быть условно принята однородной, то на элементы антенны приходит сигнал, который можно рассматривать как единую суперпозицию плоских волн. Ключевые слова: гидроакустика, шумопеленгование, локализация, акустические лучи, подводный звуковой канал, вертикально развитая антенна.

Лучевое распространение звука в океане

22.06-01.81 Оперативный справочник вертикального распределения скорости звука Мирового океана. *Львов К.П.* *Гидроакустика*. 2022, № 51, с. <https://www.oceanpribor.ru/docs/SbGA51.pdf>. Рус.

Кратко рассмотрено приложение — оперативный справочник оценивания вертикального распределения скорости звука по данным термохалинных полей общедоступной системы усвоения океанографических данных гидрометеорологического научно-исследовательского центра РФ. Производятся расчеты скорости звука, среднегармонической скорости звука и параметров подводного звукового канала. Приложение функционирует в операционной системе WINDOWS с графическим интерфейсом GUI в среде МАТЛАБа. Приведен пример работы для глубокого моря (Черное море). Ключевые слова: ВРСЗ, среднегармоническая скорость звука, параметры подводного звукового канала, формула Чена и Миллера.

Обратное рассеяние, эхо, реверберация на комбинациях границ

22.06-01.82 Характеристики гидролокационного отражения сложных подводных объектов по результатам физического моделирования. *Чернов В.П.* *Гидроакустика*. 2022, № 51, с. <https://www.oceanpribor.ru/docs/SbGA51.pdf>. Рус.

Рассматриваются основные характеристики гидролокационного отражения от крупногабаритных подводных объектов сложной формы типа подводной лодки на основе многоэлементной модели отражения. Производится анализ и обобщение особенностей характеристик гидролокационного отражения, полученных на физических моделях иностранной подводной лодки при различных видах гидролокационных сигналов, даются их качественные и количественные оценки и предложения по учету при решении задач гидролокации. Ключевые слова: гидролокация, многоэлементный отражающий объект, эквивалентный радиус отражения, гидролокационный эхопортрет.

Подводные приложения нелинейной акустики, взрывы

См. **22.06-01.52**

Акустика морских осадков, ледяного покрова, подводная сейсмоакустика

См. **22.06-01.52**

Подводные шумы, механизмы генерации и характеристики полей

См. **22.06-01.76, 22.06-01.80**

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

См. **22.06-01.76**

Активные и пассивные сонарные системы, алгоритмы обработки сигналов

22.06-01.83 Влияние ошибки оценки скорости звука на погрешность измерения глубины неподвижного объекта. *Тимошенко В.Г., Жаворонькова А.Д.* *Гидроакустика*. 2022, № 51, с. <https://www.oceanpribor.ru/docs/SbGA51.pdf>. Рус.

Рассматриваются результаты моделирования, которые оценивают погрешность измерения глубины погружения неподвижного объекта от используемой оценки скорости звука. Показано, что при предлагаемой процедуре измерения глубины неподвижного объекта используемая оценка скорости звука несущественно влияет на конечный результат. Ключевые слова: скорость звука, гидролокация, глубина погружения, ошибка измерения.

См. также **22.06-01.76, 22.06-01.80**

Гидроакустические преобразователи и антенны

22.06-01.84 Помехоустойчивость когерентного приема двоичных сигналов с прямоугольной огибающей в гидроакустическом канале связи. *Денисов В.Е.* *Журнал радиоэлектроники*. 2022, № 8, с. 2. Рус.

Цели. Основной целью данной работы является разработка методики определения параметров двоичных сигналов, при которых сигналы становятся относительно инвариантными к частотным искажениям в морской среде. Частотные искажения сигналов обусловлены неравномерностью частотной характеристики затухания морской среды. Главной частью указанной методики является оценка влияния частотных искажений сигналов на помехоустойчивость приема. В соответствии с этим определяются вероятности ошибки приемников сигналов с различными видами манипуляции, которые оптимальны при отсутствии искажений. Методы. Используются положения прикладной гидроакустики, теории случайных процессов и теории передачи дискретных сообщений. Основное содержание. В работе рассматривалась модель однолучевого гидроакустического канала связи, характерная для глубокого моря, когда приемник или передатчик расположен в глубине моря. В качестве коэффициента передачи канала используется коэффициент передачи с гауссовской амплитудно-частотной характеристикой и линейной фазочастотной характеристикой. Определены вероятности ошибки когерентных приемников двоичных сигналов с амплитудной, частотной и фазовой манипуляцией с прямоугольной огибающей. В качестве приемников рассматриваются когерентные приемники, оптимальные по критерию максимального правдоподобия при действии белого гауссовского шума и отсутствии искажений в морской среде. Введена логарифмическая мера увеличения вероятности ошибки, которая характеризует ухудшение помехоустойчивости за счет частотных искажений в канале. Для некоторых типичных случаев определены значения параметров сигналов, относительно инвариантных к частотным искажениям в морской среде. Результаты. Найденны выражения вероятности ошибки когерентных приемников двоичных сигналов с амплитудной, частотной и фазовой манипуляцией с прямоугольной огибающей. Введена логарифмическая мера относительного увеличения вероятности ошибки по сравнению со случаем отсутствия искажений. Определена функциональная зависимость этой меры от длительности посылки сигнала, несущей частоты и начальной фазы сигнала, а также от дальности связи и отношения сигнал/шум. На плоскости несущая частота, длительность сигнала, для каждого вида сигнала построена граница области, выше которой сигналы являются относительно инвариантными к частотным искажениям в морской среде. Для дальностей связи $R = 1,5$ км и 3 км и типичных несущих частот приведены минимальные значения длительности инвариантных сигналов.

22.06-01.85 Различение подводных объектов на основе периодограммного анализа отраженных гидроакустических сигналов. *Тузбаева А.С., Ицков А.Г., Милч В.Н., Широков В.А.* *Химическая физика и мезоскопия*. 2022, 24, № 3, с. 388-399. Рус.

Предлагается метод решения актуальной научной и прикладной проблемы, связанной с эхолокацией подводных объ-

ектов с целью их обнаружения, координирования и распознавания. Гидроакустические сигналы являются основным средством, используемым для исследования подводной среды. В силу явлений рефракции, многолучевости и эффектов переотражения гидроакустические сигналы, отраженные от подводных объектов, подвержены значительной изменчивости. Поэтому существенным является поиск различительных признаков, устойчивых к перечисленным факторам изменчивости. В статье предлагается использовать для анализа отраженных гидроакустических сигналов методы периодограммного анализа. Рассматриваются вопросы применения алгоритмов, основанных на преобразовании Фурье и на основе классической схемы Бью-Балло. В статье описываются особенности создания удобного интерфейса для обработки сигналов, выделения свойств и различения тестовых объектов. Экспериментальные результаты получены в опытовом бассейне. Ключевые слова: гидроакустика, подводные объекты, распознавание, гидроакустический сигнал, периодограмма. DOI: <https://doi.org/10.15350/17270529.2022.3.32>.

22.06-01.86 Об использовании кардиоидных диаграмм направленности для пеленгования гидроакустических сигналов. *Кранц В.З., Островский Д.Б.* *Гидроакустика*. 2022, № 51, с. <https://www.oceanpribor.ru/docs/SbGA51.pdf>. Рус.

Рассмотрены вопросы формирования статического веера пространственных каналов (ПК) пеленгатора гидроакустических сигналов, в котором диаметр многоэлементной приемной антенны не превышает половины длины волны принимаемого сигнала. В каждом ПК формируется диаграмма направленности путем построения «обратной кардиоиды». Рассмотрены алгоритм и схема формирования «обратной кардиоиды». Предложен ряд различных расположений приемников. Ключевые слова: пеленгатор, кардиоида, веер пространственных каналов.

22.06-01.87 Расчет характеристик направленно-

сти плоских экранированных антенн при учете взаимодействия преобразователей по полю. *Бирюков И.Р.* *Гидроакустика*. 2022, № 51, с. <https://www.oceanpribor.ru/docs/SbGA51.pdf>. Рус.

Предложена аналитическая расчетная модель, позволяющая получить характеристику направленности плоской антенной решетки, состоящей из сферических преобразователей при учете межэлементного взаимодействия на фоне акустического экрана. Ключевые слова: плоская антенна с экраном, характеристика направленности, взаимодействие преобразователей, взаимное сопротивление излучения.

См. также **22.06-01.31, 22.06-01.80**

Подводные измерения и калибровка аппаратуры

22.06-01.88 Методы повышения эффективности и современные технологии коммуникационного взаимодействия в управляемых мобильных подводных сетях. *Сахабетдинов И.У.* *Датчики и системы*. 2022, № 2, с. 10-18. Рус.

DOI: <https://doi.org/10.25728/datsys.2022.2.2> Рассмотрены методы повышения эффективности управляемых подводных сенсорных сетей. Определена концепция развертывания мобильных роботизированных комплексов на базе автономной платформы нового типа. Дана оценка перспективных способов коммуникационного взаимодействия с учетом современных тенденций в развитии систем подводной связи. Ключевые слова: автономный подводный аппарат; мультимодальные сети; подводная связь; мультимодальная маршрутизация; гидроакустический модем; подводная сенсорная сеть; АНПА-амфибия.

См. также **22.06-01.85**

Атмосферная и аэроакустика

См. **22.06-01.1К, 22.06-01.2К, 22.06-01.4К, 22.06-01.5К, 22.06-01.6К**

Механизмы, влияющие на распространение звука в воздухе

22.06-01.89 Ударно-волновые структуры перед вентиляторной решеткой, неоднородной из-за разброса углов установки лопаток. *Ефремов Н.Л., Крайко А.Н., Пьянков К.С., Тилляева Н.И., Яковлев Е.А.* *Теоретическая и прикладная газовая динамика. Труды ЦИАМ № 1341*. Т. 1. М.: Торус ПРЕСС. 2010, с. 365-389. Рус.

Изучаются ударно-волновые структуры (УВС) из ударных волн и волн разрежения между ними, возникающие при обтекании неоднородных вентиляторных решеток сверхзвуковым потоком с дозвуковой нормальной к их фронту («осевой») компонентой скорости. Неоднородность решеток обусловлена разбросом углов установки идентичных острых или затупленных лопаток. Следствия этого — возникновение комбинационного шума с частотами, меньшими основной частоты однородной решетки, и более медленное нелинейное затухание УВС. Для описания эволюции УВС применяются быстрое «приближение нелинейной акустики» и численные алгоритмы интегрирования уравнений Эйлера на перекрывающихся (для расчета обтекания затупленных кромок) и на адаптированных к УВС сетках. Применение анализа Фурье дает спектр звуковых полей. Использование для уменьшения шума сверхзвукового вентилятора лопаток с прямолинейными начальными участками «спинок» дает эффект лишь при малом (менее $0,25^\circ$) разбросе углов их установки. Перед неоднородными решетками из затупленных лопаток УВС затухают быстрее, чем перед однородными решетками из заостренных лопаток. Для однородных решеток влияние затупления лопаток незначительно.

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

22.06-01.90 Анализ механизма излучения звука турбулентной струей на основе акустических и термоанемометрических измерений. *Крашенинников С.Ю., Миронов А.К.* *Теоретическая и прикладная газовая динамика. Труды ЦИАМ № 1341*. Т. 1. М.: Торус ПРЕСС. 2010, с. 453-481. Рус.

На основании измерений акустического излучения свободной турбулентной струи микрофонной системой, с помощью которой определяется положение источников звука для заданной частоты, и термоанемометрических измерений скорости движения вихрей заданного размера в слое смещения, предложена модель порождения шума в слое смещения струи. Показано, что возникновение акустических волн может быть объяснено, исходя из наличия в струе перемежаемости турбулентности, нестационарного движения области занятой «турбулентной жидкостью». Вследствие этого возникает нестационарное движение воздуха, эжектируемого струей, создающее акустические волны.

Распространение и рассеяние на турбулентности и на неоднородных течениях

22.06-01.91 Математическое моделирование взаимодействия ударных волн при сверхзвуковом полете группы тел. *Волков В.Ф., Дерунов Е.К.* *Вычислительные методы и программирование*. 2005, 6, № 1, с. 88-98. Рус.

Обсуждаются результаты численных исследований пространственных сверхзвуковых течений в возмущенной области совместно обтекаемых двух одинаковых параллельно расположен-

ных тел при числе Маха набегающего потока $M=4.03$ и нулевом угле атаки. Две одинаковые параллельно расположенные конфигурации представляют собой комбинации конуса с углом полураствора 20° и цилиндра с удлинением, равным 5. Используемая конечноразностная схема второго порядка основана на аппроксимации уравнений Эйлера в интегральной форме. Решение проводилось по маршевой координате в продольном направлении с использованием глобальных итераций. Показано, что с уменьшением расстояния между телами возрастает влияние дифрагируемых ударных волн на распределенные нагрузки по поверхности конфигураций и на их суммарные аэродинамические характеристики. Приведено сопоставление результатов расчета с данными физического эксперимента.

22.06-01.92 Дистанционное компьютерное моделирование ударно-волновых структур в гиперзвуковых потоках газа: технология облачных вычислений "рабочее место как услуга". *Тарнавский Г.А. Вычислительные методы и программирование.* 2010. 11, № 1, с. 1-25. Рус.

Рассмотрен компьютерный инструмент для математического моделирования ударно-волновых структур в высокоскоростном потоке реального газа на входе в диффузор гиперзвукового прямого воздушно-реактивного двигателя. Вычислительный процесс организован с использованием облачных технологий "Программное обеспечение, инфраструктура и рабочее место как услуга".

22.06-01.93 Математическое моделирование турбулентных струйных течений с помощью RANS/ILES-метода высокого разрешения. *Бендерский Л.А., Любимов Д.А. Авиационные двигатели.* 2022, № 2, с. 5-12. Рус.

Приведены результаты исследований струйных течений при дозвуковой и сверхзвуковой скорости истечения струи. Рассмотрено влияние режимных параметров (температуры и перепада давления) на характеристики струи. Расширение дозвуковой струи исследовано в том числе при наличии шевронов и спутного потока. Сверхзвуковые струи рассмотрены в постановках с прямоугольным соплом и осесимметричным биконическим соплом с аэродромом. Численные исследования проведены с помощью RANS/ILES-метода высокого разрешения. Ключевые слова: RANS/ILES-метод, турбулентные струйные течения.

22.06-01.94 Моделирование турбулентного режима течения газа. *Хвалын А.Л. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика.* 2022. 22, № 4, с. 320-327. Рус.

Проанализированы физические процессы, происходящие в турбулентном потоке. В поперечном сечении трубопровода выделены характерные области: ядро турбулентного потока и ламинарный пристеночный слой. Для моделирования распределения скорости в ядре потока использован степенной закон, в пристеночной области — линейный закон изменения модуля вектора скорости. Показатель степени определяется в зависимости от значения числа Рейнольдса, алгоритм приведен. Использованный подход не требует значительных вычислительных затрат в отличие от ряда известных сеточных методов на основе системы дифференциальных уравнений Навье—Стокса. На основе анализа физических процессов предложен способ математического моделирования турбулентного режима течения газа в круглой трубе в виде достаточно простых инженерных формул. Геометрический вид трехмерного годографа скорости представляет собой комбинацию из круглого усеченного конуса и фигуры вращения, образованной на основе степенной функции. Определена граница пристеночной области на основе числа Рейнольдса, получена инженерная формула. Приведены результаты расчетов, в графическом виде представлены двумерные профили скорости для ряда значений скоростей. Анализ результатов позволяет определить границы применимости модели. Так, при различиях значений модулей скорости на оси трубопровода и вблизи стенки более 20%, т.е. при числах Рейнольдса ниже 8000, годограф скорости претерпевает излом в верхушечной области. Графический вид годографа скорости приближается к параболическому, что соответствует ламинарному режиму течения газа и описывается законом Пуазейля.

22.06-01.95 Расчет акустических характеристик те-

чения вязкого сжимаемого газа около кругового цилиндра. *Волков К.Н., Емельянов В.Н., Карпенко А.Г., Чернышов П.С. Инженерно-физический журнал.* 2022. 95, № 5, с. 1257-1265. Рус.

Рассмотрена генерация шума течением вязкого сжимаемого газа относительно кругового цилиндра в результате формирования в нем вихрей и их отрыва от поверхности цилиндра. Выполнены расчеты поля такого течения с использованием метода моделирования крупных вихрей и его акустических характеристик с использованием метода акустической аналогии, основанного на решении уравнения Фокса Вильямса—Хоукинга. На основе данных прямого численного моделирования исследованы режимы обтекания цилиндра при различных числах Рейнольдса. Проведено сравнение результатов расчетов акустических характеристик течения газа относительно цилиндра в рамках двух- и трехмерных подходов к решению уравнения Фокса Вильямса—Хоукинга. Получено хорошее согласие между расчетными газодинамическими и акустическими характеристиками течения с соответствующими экспериментальными и расчетными данными, имеющимися в литературе. Ключевые слова: аэроакустика, вычислительная газовая динамика, цилиндр, шум, отрыв течения, вихрь, диаграмма направленности.

22.06-01.96 Анализ вторичного звукового излучения в акустической аналогии с оператором распространения, содержащим вихревые моды. *Копьев В.Ф., Чернышев С.А. Акустический журнал.* 2022. 68, № 6, с. 647-669. Рус.

Анализируется метод акустической аналогии применительно к звуковому излучению турбулентной дозвуковой струи. Этот метод описания процесса аэродинамической генерации звука турбулентными потоками основан на использовании линейного оператора распространения со случайным источником в правой части. Главной проблемой при таком подходе является выбор эффективного способа разделения левой части уравнения, отвечающей за распространение звуковых волн, и правой нелинейной части, отвечающей за генерацию звука, так, чтобы результат расчета шума соответствовал экспериментальным данным и физическим представлениям о процессе генерации шума турбулентностью. Одной из нерешенных проблем описанного подхода, проявляющейся в большинстве акустических аналогий, является проблема так называемого сдвигового шума струи, связанного с возбуждением источниками вихревых возмущений сдвигового потока и дополнительным вкладом этих возмущений в звуковое излучение. До сих пор остается неясным, является ли сдвиговая компонента шума отражением реальных физических процессов или она связана с преобразованием уравнений и неточным моделированием источников в методе акустической аналогии. В настоящей работе в рамках сформулированной выше проблемы рассматривается акустическая аналогия, в которой в качестве оператора распространения используются линеаризованные уравнения Эйлера. При таком описании оператор распространения содержит вихревые моды, что приводит к появлению сдвиговой компоненты шума, которая возникает из-за накачки вихревых возмущений источниками в правой части. При моделировании звуковых источников используются гипотезы о квадрульном характере излучения, изотропности источников звука, а также пространственной некоррелированности процесса рождения звуковых источников. Для валидации модели используются данные измерений звукового излучения струи по методу азимутальной декомпозиции. Проведенное в работе сравнение модели и эксперимента указывает на отсутствие сдвиговой компоненты в шуме струи. Это позволяет сделать вывод о том, что используемое в рассматриваемой акустической аналогии представление о накачке линейных вихревых возмущений среднего течения нелинейными турбулентными пульсациями не соответствует реальному механизму генерации шума турбулентной струей. Анализируются возможные причины выявленного несоответствия модели звукового излучения струи данным акустических измерений в части сдвиговой компоненты шума. Рассматриваются возможные способы решения этой проблемы, позволяющие эффективно разделять левую часть уравнения, отвечающую за распространение звуковых волн, и правую нелинейную часть, отвечающую за генерацию звука.

22.06-01.97 Модели и методы скалярной волновой фильтрации полей пристеночных турбулентных пульсаций давления. *Кудашев Е.Б., Яблоник Л.Р. Акустический журнал.* 2022. 68, № 6, с. 670-678. Рус.

Введено понятие скалярного частотно-волнового спектра турбулентных пристеночных давлений и исследованы его основные особенности. Скалярный частотно-волновой спектр, представляющий суммарную энергию всех волновых компонент поля турбулентных давлений с заданным модулем волнового вектора, содержит в концентрированном виде информацию, требующую при решении многих задач аэрогидродинамической акустики. Показано, что контурные фильтры позволяют проводить оценки частотно-волнового спектра в области малых волновых чисел. Несмотря на трудность практической реализации скалярной волновой фильтрации полей пристеночных турбулентных пульсаций давления в настоящее время построение контурных фильтров представляется перспективным направлением исследований. Предложенные методы и полученные в работе результаты показывают, что широкополосная скалярная волновая фильтрация поля турбулентных пристеночных давлений может осуществляться на базе использования конечно-размерных приближений “идеального” скалярного волнового фильтра с единичной волновой чувствительностью в заданном диапазоне волновых чисел и нулевой чувствительностью вне этого диапазона.

Источники звука в атмосфере

22.06-01.98 Корреляционный метод идентификации акустических источников с помощью многомикрофонных измерений. *Демьянов М.А. Акустический журнал.* 2022. 68, № 6, с. 638-646. Рус.

Разработан метод определения поля источников по данным многомикрофонных измерений, основанный на корреляционном анализе акустических полей. В предположении дельта-коррелированности поля источников, данный подход позволяет принципиально изменить математическую постановку обратной задачи таким образом, что задача становится корректно поставленной. В частности, данный метод дает возможность одновременно распознать монопольную и дипольную компоненты поля источников с помощью измерений плоской микрофонной решеткой. Метод верифицирован численно на различных тестовых примерах одновременного распознавания монопольной и дипольной составляющих поля источников.

См. также **22.06-01.21**

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

См. **22.06-01.46**, **22.06-01.90**

Авиационная акустика

22.06-01.99 Предисловие [к сб. научн. тр. «Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении»]. *Ланшин А.И. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 3-6. Рус.

22.06-01.100 Исследование течения в дозвуковом входном устройстве СУ, интегрированном с планером летательного аппарата. *Постников А.А., Виноградов В.А., Комратов Д.В., Скрябин А.С. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 9-12. Рус.

22.06-01.101 Расчетно-экспериментальное исследование характеристик воздухозаборника для СУ сверх-

звукового пассажирского/делового самолета с модифицированной схемой сжатия и двухконтурным разделителем на режимах дросселирования внешнего контура с диагностикой РIV. *Белова В.Г., Виноградов В.А., Захаров Д.Л., Комратов Д.В., Макаров А.Ю., Маслов В.П., Степанов В.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 12-16. Рус.

22.06-01.102 Расчетно-экспериментальные исследования многоканального входного устройства су высокоскоростного летательного аппарата. *Виноградов В.А., Захаров В.С., Прохоров А.Н., Степанов В.А., Боровиков А.Д., Пономарёв Н.Б. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 17-20. Рус.

22.06-01.103 Расчетно-экспериментальные исследования расходно-тяговых характеристик реверсивно-отклоняющего устройства. *Егоров О.В., Мышенков Е.В., Столяров В.А., Шелгунов Е.Ю., Казаков П.Г., Петухов В.П. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 20-23. Рус.

22.06-01.104 Экспериментальное исследование расходно-тяговых и акустических характеристик выходного устройства СУ сверхзвукового пассажирского/делового самолета. *Воробьев С.В., Казаков П.Г., Миронов А.К., Мышенков Е.В., Петухов В.П., Столяров В.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 24-27. Рус.

22.06-01.105 Сравнение расчетных и экспериментальных данных по интегральным характеристикам воздухозаборника в компоновке с корпусом сверхзвукового летательного аппарата. *Виноградов В.А., Лобанова Д.И., Степанов В.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 27-30. Рус.

22.06-01.106 Результаты исследования шумообразования в турбулентных струях и данные теории Лайтхилла. *Крашенинников С.Ю., Миронов А.К., Семенов П.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 31-37. Рус.

22.06-01.107 Расчетное определение импедансных характеристик реальных панелей звукопоглощающей конструкции в условиях потока с пограничным слоем. *Абрамов В.С., Валиев Х.Ф., Егорян А.Д., Крайко А.А., Пьянков К.С., Яковлев Е.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 38-41. Рус.

22.06-01.108 Математическое моделирование пространственных акустических полей применительно к проблемам экранирования тонального шума всасывания ГТД и оценки влияния рефракции звука в сдвиговом потоке на излучение шума внутренних источников через выхлопную струю ГТД. *Александров В.Г., Осипов А.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный инсти-

тут авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 42-45. Рус.

22.06-01.109 Вычислительное моделирование физических механизмов реактивного воздействия на пространство модального звука в газовом тракте ГТД. *Александров В.Г., Осипов А.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 45-48. Рус.

22.06-01.110 Особенности акустических характеристик сверхзвуковой струи, истекающей из прямоугольного сопла большого удлинения, включая учет влияния примыкающей пластины. *Макаров В.Е., Шорстов В.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 48-52. Рус.

22.06-01.111 Влияние числа Рейнольдса на физический механизм, характер и уровень шума задней кромки профиля NASA 0012 под нулевым углом атаки. *Макаров В.Е., Шорстов В.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 52-55. Рус.

22.06-01.112 Физический механизм возникновения тоновых составляющих в шуме дозвуковой струи, истекающей из прямоугольного сопла с развитым центральным телом. *Макаров В.Е., Шорстов В.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 56-59. Рус.

22.06-01.113 Сравнение прямоточных воздушно-реактивных двигателей с медленным и детонационным горением. *Крайко А.Н., Егорян А.Д. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 60-64. Рус.

22.06-01.114 Моделирование автоколебаний в камере сгорания ГТУ. *Чепрасов С.А., Дробыш М.В. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 69-72. Рус.

22.06-01.115 СВЧ-разрядное воспламенение в потоке топливовоздушной смеси. *Виноградов В.А., Комратов Д.В. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 73-76. Рус.

22.06-01.116 Разработка модели перспективного КВД на основе методики оптимального профилирования многоступенчатых лопаточных машин. *Егорян А.Д., Крайко А.А., Пьянков К.С. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 77-80. Рус.

22.06-01.117 Разработка рекомендаций по выбору параметров агрессивных каналов на основе оптимизации параметров плазменных актуаторов для управления потоком. *Семенёв П.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 80-83. Рус.

22.06-01.118 Расчетно-экспериментальные исследо-

вания образования сверхкритических синтетических струй на основе искрового разрядника. *Белова В.Г., Комратов Д.В., Степанов В.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 84-86. Рус.

22.06-01.119 Измерение температуры высокоэнтропийного потока газа на основе математической модели сопряжения и решения сопряженной теплофизической задачи. *Бендерский Л.А., Лобанова Д.И., Степанов В.А., Арефьев К.Ю., Шапошников Д.С. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 87-90. Рус.

22.06-01.120 Расчет электрофизических параметров струи двигательной установки десантного модуля "ЭкзоМарс-2020" для моделирования условий работы радиовысотомера при безопасной посадке на поверхность Марса. *Белова В.Г., Комратов Д.В., Кадочников И.Н., Кулешов П.С., Лобанова Д.И., Савельев А.М., Семенёв П.А., Степанов В.А., Титова Н.С., Токталиев П.Д. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 90-94. Рус.

22.06-01.121 Экспериментальное исследование и приближенная теоретическая модель образования положительно заряженных микрочастиц при разрушении металлических тел. *Голенцов Д.А., Гулин А.Г., Лихтер В.А., Улыбышев К.Е. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 94-100. Рус.

22.06-01.122 Вихреразрешающий метод для расчета турбулентных течений в элементах авиационных силовых установок на современных суперкомпьютерах. *Бендерский Л.А., Любимов Д.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 103-108. Рус.

22.06-01.123 Влияние спутного потока на течение и характеристики турбулентности в реактивных струях, истекающих из сопел разного типа. *Бендерский Л.А., Любимов Д.А., Честных А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 109-112. Рус.

22.06-01.124 Анализ RANS/ILES-методом влияния возмущений на входе в воздухозаборник современного ТРДД на течение и характеристики турбулентности перед вентилятором. *Аюпов Р.Ш., Бендерский Л.А., Любимов Д.А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 112-118. Рус.

22.06-01.125 Оценка RANS/ILES-методом влияния дросселирования и синтетических струй на характеристики и спектральные свойства потока в S-образном воздухозаборнике, интегрированном с планером самолета с распределенной силовой установкой. *Бендерский Л.А., Любимов Д.А., Терезова А.А., Честных А. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 118-123. Рус.

22.06-01.126 Использование синтетических струй для управления течением в конвергентном воздухозаборнике СДС на различных режимах дросселирования. *Бендерский Л.А., Любимов Д.А., Поляняков Н.А.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 123-128. Рус.

22.06-01.127 Применение газодинамического управления течением в лопаточном венце турбины. *Бендерский Л.А., Любимов Д.А., Макаров А.Ю., Терехова А.А.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 128-133. Рус.

22.06-01.128 Применение газодинамических средств управления течением в переходном межтурбинном канале ТРДД со стойками. *Бендерский Л.А., Любимов Д.А., Терехова А.А.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 133-138. Рус.

22.06-01.129 Расчет RANS/ILES-методом в прямоуглом сопле и струи из сопла сверхзвукового делового и пассажирского самолета для определения параметров течения и турбулентности в струе. *Аюпов Р.Ш., Бендерский Л.А., Любимов Д.А.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 138-144. Рус.

22.06-01.130 Редуцированные кинетические механизмы окисления метана и н-декана. *Кулешов П.С., Старик А.М., Титова Н.С., Торохов С.А.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 145-153. Рус.

22.06-01.131 Особенности окисления углеводородных топлив с добавками водорода и влияние добавки водорода на горение и образование экологически опасных компонентов в камерах сгорания с гомогенным режимом горения. *Козлов В.Е., Кулешов П.С., Старик А.М., Титова Н.С., Торохов С.А.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 153-161. Рус.

22.06-01.132 Численное исследование влияния коэффициента избытка воздуха на образование ПОХ и горение водородно-воздушной смеси в сверхзвуковом потоке в канале при разделной подаче топлива и воздуха. *Безгин Л.В., Копчёнов В.И., Старик А.М., Титова Н.С.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 161-166. Рус.

22.06-01.133 Численное моделирование горения н-декана с добавками наночастиц алюминия в сверхзвуковом потоке. *Безгин Л.В., Копчёнов В.И., Савельев А.М., Старик А.М., Титова Н.С.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 181-187. Рус.

22.06-01.134 Численное исследование процесса горения струй диборана в спутном воздушном потоке с использованием разработанного детального кинетического механизма окисления диборана. *Безгин Л.В., Коп-*

чёнов В.И., Савельев А.М., Савельева В.А. *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 187-191. Рус.

22.06-01.135 Теоретические исследования кинетики элементарных реакций с участием электронно-возбужденных молекул кислорода и азота. *Шаринов А.С., Пелевкин А.В., Луговицкий Б.И.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 192-198. Рус.

22.06-01.136 Экспериментальные и численные исследования воспламенения и горения различных топлив (H_2 , CH_4 , $N-C_{10}H_{22}$) при фотодиссоциации молекул кислорода лазерным излучением. *Кобцев В.Д., Кострица С.А., Смирнов В.В., Верецагин К.А., Волков С.Ю., Пелевкин А.В., Старик А.М., Титова Н.С., Торохов С.А.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 198-205. Рус.

22.06-01.137 Экспериментальные исследования воспламенения водорода и метана в проточном реакторе при воздействии электрического разряда. *Кобцев В.Д., Кострица С.А., Смирнов В.В., Титова Н.С., Торохов С.А.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 205-211. Рус.

22.06-01.138 Влияние фотохимической активации молекул кислорода на работу двигателя внутреннего сгорания с компрессионным воспламенением. *Козлов В.Е., Старик А.М., Титова Н.С.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 205-217. Рус.

22.06-01.139 Детальная уровневая и модифицированная модовая модели для описания физико-химических процессов, протекающих в воздушной плазме за фронтом сильной ударной волны. *Кадочников И.Н., Арсентьев И.В.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 218-224. Рус.

22.06-01.140 Численное исследование влияния колебательной неравновесности на процессы горения водорода в воздухе за ударной волной. *Кадочников И.Н., Арсентьев И.В.* *Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 224-230. Рус.

22.06-01.141 Электроды — перспектива гражданской авиации? *Болсуновский А.Л.* *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 19. Рус.

Дан обзор различных проектов перспективных скоростных самолетов с электрической и гибридной силовой установкой. Рассмотрены плюсы и минусы различных компоновок. Выполнена разработка предварительной аэродинамической схемы региональной самолета с гибридной силовой установкой с МКРЕЙС=0.65–0.7. Турбоэлектрическая силовая установка состоит из множества небольших импеллеров с электродвигателями, устанавливаемых на нижней поверхности закрылка. Диаметр канала импеллера составляет около 10% от хорды крыла.

Проведены расчеты обтекания профиля крыла с работающим импеллером как при крейсерских скоростях, так и на режимах взлета/посадки с отклоненным закрылком. Показана принципиальная реализуемость предложенной аэродинамической компоновки. Предложен вариант аэродинамической модели с гибридной силовой установкой для экспериментальной апробации в АДТ ЦАГИ. Рассмотрена возможность создания летного демонстратора с гибридной силовой установкой для практической оценки всех аспектов.

22.06-01.142 Вычислительный эксперимент в вертолетостроении. Задачи. Решения. Перспектива. Ивчин В.А. *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 21-24. Рус.

Представлен обзор задач по аэродинамике вертолетов, которые могут быть решены на более высоком уровне с применением методов вычислительного эксперимента на основе решения уравнений Навье—Стокса.

22.06-01.143 О роли различных механизмов в излучении звука турбулентной струей. Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Фараносов Г.А. *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 25-30. Рус.

Проблема излучения шума турбулентными струями до сих пор не имеет общепринятого теоретического решения. Причиной этого является то, что в турбулентной струе лишь малая часть гидродинамических пульсаций является эффективным источником шума, и в настоящее время нет общепринятого ответа на вопрос о том, какая составляющая турбулентных пульсаций в струе несет ответственность за генерацию шума. Это, в первую очередь, отражает сам факт нерешенности фундаментальной проблемы турбулентности.

22.06-01.144 Применение математического моделирования для решения задач аэрогазодинамики при проектировании изделий космической техники. Михайлов М.В. *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 33. Рус.

Отражены преимущества и недостатки внедрения компьютерного моделирования в процесс создания изделий ракетно-космической техники. На примере исследования аэродинамических характеристик (АДХ) ракетно-космических систем наглядно представлены результаты использования программных пакетов, применяемых на предприятии, отражена корреляция расчетных и экспериментальных данных, подтверждающих возможность использования программных комплексов.

22.06-01.145 Практические задачи применения численных исследований при создании перспективных ГТД. Мушин А.Н., Вовк М.Ю. *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 34-36. Рус.

Без применения численных исследований невозможно представить современного проектирования газотурбинной техники. Рост производительности вычислительной техники и совершенствование численных методов расчёта расширяет круг задач, решаемых при разработке новых двигателей. Помимо традиционных требований к перспективным двигателям — повышение тяги, снижение удельного расхода топлива и массы, предъявляются такие требования как отбор мощности от двигателя для выработки электрической энергии до 500 кВт, снижение заметности двигателя в радиолокационном и инфракрасном диапазоне, повышение газодинамической устойчивости компрессоров, высотности силовой установки и времени работы на крейсерских и максимальных режимах работы. Очевидно, что использование численных исследований позволяет провести ши-

рокий анализ работоспособности разрабатываемых узлов ещё до стадии изготовления и испытания опытных образцов. Идеальным результатом использования численных исследований можно считать получение заданных характеристик технической системы на первом же изготовленном, собранном и испытанном экземпляре. Это является залогом сокращения ресурсоёмкого этапа жизненного цикла технической системы — параметрической и прочностной доводки двигателя. Представлены некоторые аспекты направления работ ОКБ им. А. Люльки по «цифровизации» процесса проектирования авиационных двигателей, а также актуальные задачи для численных исследований, возникающие при проектировании перспективной авиационной техники, разрабатываемой в ОКБ. Одним из заслуживающего внимания является направление по созданию «Цифрового двойника» газотурбинного двигателя. Из всего широкого спектра задач, входящих в понятие «Цифровой двойник» выбраны наиболее значимые, которые позволяют сократить время проектирования с одновременным увеличением количества рассматриваемых и рассчитываемых вариантов. Таким образом, основное назначение пилотной версии «Цифрового двойника» («ЦД») — «цифровизация» процесса проектирования, включая обеспечение прозрачности контролирования хода выполнения работ по проекту и проверки достижения требуемых результатов. Также проект «ЦД» направлен на поиск и дальнейшее использование отечественных программных продуктов. Приводятся вопросы юридического характера, препятствующие скорому внедрению технологии «ЦД» в процесс проектирования авиационной техники. Особое место отведено описанию практических задач, возникающих при проектировании перспективных авиационных двигателей.

22.06-01.146 Моделирование аэродинамики и акустики винта дрона с использованием различных моделей. Абалякин И.В., Бобков В.Г., Козубская Т.К. *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 38-39. Рус.

Проведено сравнение результатов моделирования аэродинамических и акустических характеристик маломасштабного винта дрона. Для моделирования вращающегося винта использовались модели на основе уравнения Эйлера и Навье—Стокса записанные в неинерциальной вращающейся системе координат. При использовании модели на основе уравнений Навье—Стокса использовались два подхода — методика на основе осреднённых по Рейнольдсу уравнений (RANS) и вихререзающий подход IDDES.

22.06-01.147 Влияние геометрии задней стенки на пульсации давления в отсеке перспективного летательного аппарата. Абраштов Р.Г., Останко Д.А., Попов О.Ю., Чучкалов И.Б. *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 40. Рус.

При создании перспективной авиационной техники перед инженерами возникают вопросы выбора конфигураций отсеков с авиационными средствами поражения (АСП), позволяющих обеспечить допустимые аэроакустические нагрузки в широком диапазоне чисел Маха при открытии отсека. В процессе проектирования отсека АСП не всегда удается реализовать в полной мере мероприятия по снижению пульсаций давления, характеризующие аэроакустические нагрузки при открытии отсека. В частности, из-за существующих конструктивных и компоновочных ограничений не удается реализовать такой способ, как наклон всей задней стенки отсека на необходимый угол. В этой связи, в «ОКБ Сухого» были проведены численные и трубные исследования влияния геометрии задней стенки отсека с АСП на пульсации давления, возникающие в открытом отсеке при пуске АСП. В результате проведённых расчётов получены осреднённые и нестационарные поля давления, числа Маха, скорости, плотности, температуры, завихренности, позволяющие определить влияние количества граней скоса задней стенки отсека, изменения их угла наклона на нестационарные аэроакустические нагрузки в отсеке перспективного ЛА.

22.06-01.148 Численное моделирование тонального шума несущего винта с помощью кода «ГЕРБЕРА». *Акинъшин Р.В., Воронцов В.И., Зайцев М.Ю., Титарев В.А., Фараносов Г.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 41-45. Рус.

Шум на местности является одним из параметров, который необходимо оптимизировать при проектировании вертолетов нового поколения в виду все большего значения экологических аспектов их эксплуатации. Поэтому задача снижения шума вертолетных винтов является актуальной и востребованной. В связи с тем, что возможности акустического эксперимента для вертолетных винтов (в особенности для режима полета) весьма ограничены в связи с отсутствием в России заглушенных аэродинамических труб достаточного размера, перспективным выглядит использование численных методов применительно к задаче моделирования аэроакустических характеристик таких винтов и разработке методов их улучшения. Первым шагом в направлении такого использования численных методов является их валидация с использованием доступных экспериментальных данных. В рамках настоящей работы исследована возможность использования вычислительного кода «Гербера» для моделирования аэроакустических характеристик несущего винта на режиме висения, для которого имеется набор экспериментальных данных, позволяющий провести валидацию численного метода.

22.06-01.149 Моделирование генерации акустических волн винтом квадрокоптера в рамках модели акустико-вихревой декомпозиции. *Аксенов А.А., Клименко Д.В., Тимушев С.Ф., Шапоренко Е.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 46-48. Рус.

Акустическое воздействие малых летающих аппаратов на окружающую среду вызывает ухудшение экологической обстановки. Поэтому проектирование аппаратов, имеющих малый шум, является актуальной проблемой. Современное проектирование предполагает использование численного моделирования как способа автоматизации инженерных расчетов функционирования создаваемых объектов до их реального воплощения «в металле». Это подход проявляется и при моделировании шума от создаваемого объекта. В настоящее время начинает широко использоваться подход к моделированию генерации и распространения акустических волн через декомпозицию нестационарного давления на гидродинамические пульсации (псевдозвук) и акустическое поле. Одна из реализаций этого подхода достигается путем определения пульсаций поля на воображаемой поверхности, удаленной от источника акустического поля, где практически нет пульсаций гидродинамического поля (поверхность Кирхгофа). За пределами этой поверхности решается волновое уравнение переноса акустических волн различными методами. Главный недостаток этого метода — неопределенность в расстоянии, на котором необходимо провести поверхность Кирхгофа. Дело в том, что при расчете методами CFD акустическая составляющая давления достаточно быстро затухает из-за схемной вязкости численного метода. Для преодоления схемной вязкости приходится дробить расчетную сетку, что приводит к большому потреблению вычислительных ресурсов. Поэтому приближение поверхности Кирхгофа к источнику шума уменьшает требуемые ресурсы компьютера, но вызывает искажения акустического поля за счет того, что на этой поверхности учитываются не только акустические, но и вихревые колебания давления (псевдозвук). Удаление поверхности Кирхгофа от источника приводит к искажению не только амплитуд акустической волны, но и ее спектральных характеристик, так как схемные эффекты CFD-метода влияют по-разному на разные частоты. В настоящей работе используется подход акустико-вихревой декомпозиции. В нем источник шума определяется непосредственно в объеме поля течения, являющегося генератором шума. Расчет акустических волн проводится во всей области расчета, включая источник шума. Данный подход реализован в программном комплексе FlowVision и является

ис усовершенствованной мультипроцессорной моделью ранней однопроцессорной бета-версии.

22.06-01.150 Численное моделирование генерации шума разными конфигурациями винтов мультикоптера. *Аксенов А.А., Клименко Д.В., Мошков П.А., Тимушев С.Ф., Федосеев С.Ю., Яковлев А.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 49-53. Рус.

Небольшие мультикоптеры (дроны), становятся все более полезными для коммерческой и частной деятельности. Несмотря на свою полезность, беспилотники создают шум, который раздражает население. Акустические характеристики становятся ключевым контрольным и конструктивным параметром, и вводят дополнительные ограничения на шумовое загрязнение, которое оказывает непосредственное влияние на здоровье людей. В данной работе продолжена верификация метода декомпозиции псевдозвука (вихревой моды) и акустического поля, который реализован в однопроцессорной бета-версии акустической модели пакета FlowVision 2.5.

22.06-01.151 Развитие модели обледенения IceVision 2.0 в свете новых требований норм летной годности. *Аксенов А.А., Бабулин А.А., Жлуктов С.В., Окулов М.К., Сорокин К.Э., Шевяков В.И. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 54-56. Рус.

Представлено валидационное исследование модели IceVision 2.0 на различных экспериментальных тестах, опубликованных в открытой литературе.

22.06-01.152 Генерация анизотропного турбулентного поля с заданными параметрами на основе тензорного метода фильтрации. *Александров А.В., Дородницын Л.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 57-60. Рус.

Численно исследуются характеристики искусственных турбулентных полей, генерируемых на основе прямого тензорного метода фильтрации, с использованием спектральных моделей, не реализованных в рамках скалярного DAF-метода. Эффективность метода генерации продемонстрирована на примере расчетов ряда тестовых задач.

22.06-01.153 Численное исследование аэродинамики головного блока при аварии в условиях ветрового воздействия. *Аникеева М.И., Дядькин А.А., Михайлов М.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 61-63. Рус.

В случае аварии на участке выведения пилотируемого корабля (ПК) на орбиту осуществляется отделение возвращаемого аппарата (ВА) корабля с экипажем от аварийной ракетно-носителя (РН) с помощью двигателей системы аварийного спасения (САС) с последующей посадкой аппарата на парашютах. Наиболее сложный случай аварии — это авария РН на старте из-за ограниченности времени и высоты для осуществления маневра увода аппарата от аварийной ракеты. Для этого случая чрезвычайно важным является надежное определение аэродинамических сил и моментов, действующих на отделяемый головной блок (ОГБ) в процессе отделения от РН. В работе осуществляется численное моделирование обтекания системы тел (ОГБ САС и РН) в процессе их разделения с определением сил, моментов и распределения давления в квазистатической постановке — расстояния между телами задаются дискретно. Собственная скорость движения ОГБ с работающими двигателями установками (ДУ) на данной стадии исследования не учитывается. Главной задачей данного этапа является определение влияния ветра, струй ДУ и расстояния между объектами

на газодинамические силы и моменты.

22.06-01.154 Опыт применения схем повышенного порядка точности с квазиодномерной реконструкцией переменных при расчетах на неструктурированных сетках. *Бабич Е.В., Колесник Е.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 64-67. Рус.

Современные задачи аэродинамики и аэроакустики, решаемые посредством численного моделирования, требуют адекватного разрешения мелкомасштабных возмущений с сохранением их волновых свойств, при этом качество и ресурсоемкость вычислений в первую очередь определяются точностью используемых численных схем. В настоящее время среди схем высокого порядка точности, применяемых для решения задач на неструктурированных сетках по методу конечного объема, большее распространение получили схемы с квазиодномерной реконструкцией переменных. Согласно данному подходу вначале с использованием различных полиномов определяются значения «основных» переменных слева и справа от грани, после чего расчет вектора газодинамических потоков на грани проводится с использованием реконструированных значений. К настоящему времени исследованиям по данной тематике посвящено большое количество публикаций, однако в литературе до сих пор имеются различные мнения по данному вопросу. Настоящая работа посвящена тестированию нескольких схем повышенного порядка точности (3-го и 5-го порядка) с квазиодномерной реконструкцией переменных при расчетах на неструктурированных сетках с различным типом сеточных элементов.

22.06-01.155 Метод конечно-элементного моделирования гидродинамического шума, возникающего при обтекании упругих тел. *Балакирева Н.В., Еремеев В.О., Зайцева С.Г., Суворов А.С. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 68. Рус.

Представлен метод моделирования гидродинамического шума, позволяющий осуществлять расчет излучения звука в механикоакустических системах произвольной геометрии с учетом упругих резонансов движущегося в жидкости тела. Метод основан на представлении акустического излучения как процесса рассеяния турбулентных псевдозвуковых волн на неоднородностях обтекаемой поверхности и оперирует совместным решением уравнений Гельмгольца и теории упругости в конечно-элементной постановке в спектральной области. В качестве исходных гидродинамических данных в методе используется тензор напряжений Лайтхилла, что позволяет подавить нефизические пульсации, свойственные для расчетов течений жидкости в RANS-LES постановке. Представлены результаты валидации метода на примере классических задач и его апробации в задаче шумозлучения гидравлического оборудования. Показано, что в отличие от аэроакустической проблематики основной вклад в излучение звука гидродинамическими источниками формируется за счет возбуждения потоком резонансных колебаний обтекаемых тел.

22.06-01.156 Локализация источников шума сферической микрофонной решёткой в пассажирском самолете при наземных испытаниях. *Барышева Д.В., Лесных Т.О., Иванова Е.В., Ким Н.В., Сергеев М.С., Романенко Г.А., Печегин Д.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 69-72. Рус.

В последнее время оценка акустических характеристик самолета не ограничивается только крейсерскими режимами полета. Рекомендуется оценивать характеристики шума в течение всего полета, а также при наземных гонках маршевых силовых установок (МСУ). Измерения уровня звукового давления (УЗД) на вновь создаваемых самолётах являются обязательными при оценке степени комфорта для пассажиров и условий ра-

боты экипажа. Для выявления наиболее заметных источников шума может быть использована система сферического бимформинга. Она разработана специально для использования внутри кабин самолётов, вертолетов и автомобилей, которые могут иметь сложное звуковое поле с большим количеством отражений, что делает невозможным применение обычных плоских микрофонных решеток. Система сферического бимформинга, обеспечивает формирование сферической диаграммы направленности и позволяет обойти данные ограничения. В рамках демонстрационной работы успешно проведены акустические испытания по локализации источников шума в контрольных областях в салоне и кабине экипажа пассажирского самолета при гонке МСУ с применением сферической микрофонной решётки с 36 микрофонами и встроенными цифровыми камерами. Получены диаграммы распределения суммарных УЗД и выделены источники шума внутри пассажирского салона и кабины экипажа. Проведен анализ вклада шума самолетных систем, с учётом их конструктивных особенностей, в общий уровень шума в самолете. Данный метод определения акустических характеристик позволяет выявить возможные места доработок конструкции, а повторные испытания — оценить эффективность данных доработок для снижения общего шума пассажирского самолета.

22.06-01.157 Расчетно-экспериментальное исследование акустических характеристик моделей винтов вблизи земли. *Батраков А.С., Кусюмов А.Н., Пахов В.В., Степанов Р.П. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 73-76. Рус.

Валидация численных расчетов характеристик летательных аппаратов (в том числе акустических) остается одной из основных проблем численных методов. Данная работа содержит результаты исследований поля акустического давления в окрестности трех комплектов лопастей с различной формой в плане. Приводится сравнение результатов численных расчетов и экспериментальных данных. В работе исследовались три комплекта лопастей различной формы в плане.

22.06-01.158 Сравнение противопоточных и симметричных WENO-схем при моделировании базовых турбулентных течений методом крупных вихрей. *Баланс С., Трошин А.И. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 77-80. Рус.

Как известно, при использовании гибридных RANS/LES методов в задачах обтекания твердых поверхностей важен вопрос выбора численной схемы. Противопоточные схемы, которые обычно применяются вблизи стенки, обладают высоким уровнем диссипации, непригодным для LES. Центральные-разностные (CD) схемы, привлекаемые с точки зрения описания малых масштабов течения, обладают недостаточным запасом устойчивости при использовании их в пристенной части пограничного слоя. Одним из подходов в данной ситуации является использование гибридных разностных схем, которые с помощью эмпирической переходной функции переключаются между противопоточной и центрально-разностной аппроксимациями. Т.

22.06-01.159 Тестирование метода расчета отрывных течений на основе подхода IDDES и модели турбулентности класса DRSM. *Бажан С., Волков А.В., Матяш И.С., Матяш С.В., Трошин А.И. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 81-84. Рус.

Надежное моделирование отрывных течений до сих пор остается нерешенной задачей вычислительной аэродинамики. Популярными в настоящее время методами, основанными на буссинесковских моделях турбулентности, могут давать ошибку в размере отрывных зон до 100%, связанную с некорректным воспроизведением интенсивности обмена массой, импульсом и энер-

гией через границу отрыва. Модели турбулентности класса DRSM (Differential Reynolds Stress Models — дифференциальные модели для напряжений Рейнольдса) обладают значительным потенциалом в описании отрывных течений в рамках системы уравнений Рейнольдса. Отметим, что развитию этого направления посвящен европейский проект HiFi-TURB (2019—2022). В связи с этим интересен вопрос: какие преимущества можно получить в вихреразрешающих расчетах на базе модели класса DRSM. В данной работе рассматривается оригинальный вариант метода IDDES, обозначенный DRSM-IDDES, основанный на небуссиновской модели турбулентности SSG/LRR- ω и сформулированный по аналогии с SST-IDDES.

22.06-01.160 Численное исследование влияния аэродинамической трубы на характеристики винта вертолета. *Бобков В.Г., Вершков В.А., Козубская Т.К., Крицкий Б.С., Миргазов Р.М. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН, 2022, с. 85–87. Рус.

При проектировании новых перспективных винтокрылых летательных аппаратов для исследования аэродинамических характеристик (АДХ) винтов широко применяются физические эксперименты в аэродинамической трубе (АДТ). Размер рабочей камеры АДТ ограничен и несомненно оказывает влияние на исследуемые АДХ винта. В работе методика вычислительного эксперимента была применена для исследования влияния стенок рабочей камеры АДТ на АДХ вращающегося винта вертолета на режиме горизонтального полета.

22.06-01.161 Численное исследование влияния земли на аэродинамические характеристики жёсткого винта вертолёта. *Бобков В.Г., Григорьева М.С. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН, 2022, с. 88–90. Рус.

Расчёт аэродинамических характеристик при обтекании винта вертолёта является актуальной задачей из-за многообразия типов вертолётов, видов винтов, конфигурации лопастей и режимов работы винта. Численные исследования обтекания винта необходимы и все шире применяются при разработке и проектировании вертолётов для определения характеристик летательного аппарата на этапе проектирования. Одним из сложных для анализа аэродинамики винта вертолета является режим работы на предельно низких высотах из-за влияния земли на аэродинамические характеристики винта вертолёта. Целью данной работы являлось численное исследование влияния земли на аэродинамические характеристики жёсткого винта вертолёта при осевом обтекании.

22.06-01.162 Моделирование обтекания винта квадрокоптера с использованием метода погруженных границ и динамической адаптации сетки. *Бобков В.Г., Жданова Н.С., Козубская Т.К., Кудрявцева Л.Н., Цветкова В.О. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН, 2022, с. 91–92. Рус.

Обсуждаются результаты расчета задачи обтекания вращающегося винта, а также ряда вспомогательных задач, рассмотренных в целях верификации разработанной методики и исследования влияния различных факторов. Моделирование проводится на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса для вязкого сжимаемого газа. В качестве замыкания этой системы используется модель турбулентности Спаларта-Аллмараса.

22.06-01.163 Особенности обтекания ближнемагистрального самолета с мотогондолой двигателя, расположенной над крылом. *Болсуновский А.Л., Брагин Н.Н., Бузоверя Н.П., Чернышев И.Л. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.*

М.: ИПМ им. Келдыша РАН, 2022, с. 93–94. Рус.

Жесткие экологические требования сформулированы в авиационном сообществе к техническим показателям воздушных судов ближайшего будущего, обеспечивающим прогнозируемый устойчивый рост воздушного транспорта. Одними из направлений исследований аэродинамических компоновок, которые позволяют снизить уровень шума на местности является экранирование планером самолета шума двигателя. В частности, к таким компоновкам относятся самолеты так называемых нетрадиционных схем: интегральной, схемы «летающее крыло», самолет с несущим фюзеляжем и т.д. Значительный экранирующий эффект может быть получен и на самолете классической схемы если двигатели располагать на верхней поверхности крыла. Принципиально данная компоновка практически не отличается от классической и может быть реализована на уровне современных технологий. Важнейшими преимуществами рассматриваемой конфигурации являются: возможность установки на самолете двигателей большой и сверхбольшой степени двухконтурности вследствие снятия ограничения на их размеры при размещении над крылом; защищенность двигателей от повреждения посторонними предметами с ВПП; благоприятные возможности для управления вектором тяги. В работе представлены результаты расчетных исследований обтекания аэродинамической компоновки современного пассажирского самолета направленных на минимизацию сопротивления самолета с двигателем расположенным над крылом. Выполнены исследования по уменьшению интерференции между планером и гондолой ТРДД. Подтверждена возможность обеспечения допустимого уровня сопротивления интерференции и предельно допустимого значения величины Судоп современного пассажирского самолета рассматриваемой схемы.

22.06-01.164 Экспериментальная проверка метода и программы расчета низкочастотных пульсаций на границе струи натурной дозвуковой аэродинамической трубы замкнутого типа. *Босняков С.М., Ливерко Д.А., Михайлов С.В., Маленко В.А., Морозов А.Н. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН, 2022, с. 95. Рус.

Исследуется точность расчета методом DDES границы дозвуковой струи в классической малоскоростной аэродинамической трубе с открытой рабочей частью. Проведено сопоставление результатов нескольких серий расчетных и экспериментальных исследований в которых низкочастотные пульсации полного давления в струе исследовались различными методами. Расчет проведен методом LES (IDDES) с применением программы EWT-ЦАГИ. Эксперимент выполнен с применением манометров, датчиков ИКД-100 и КуЛайт. Проведено сопоставление расчетных и экспериментальных данных. Показано, что они находятся в приемлемом соответствии друг с другом. Отмечено, что проведение работ по сопоставлению расчетных и экспериментальных данных в условиях больших масштабов затруднено вследствие необходимости покрытия расчетной сеткой больших объемов пространства, что ведет к серьезной загрузке компьютера. С другой стороны, точки измерения в эксперименте привязаны к определенным позициям, которые не всегда оптимальны с точки зрения исследования физических особенностей течения.

22.06-01.165 Метод характеристических штрафных функций для моделирования течений сжимаемого газа в сложной геометрии. *Васильев О.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН, 2022, с. 96–98. Рус.

Эффективное численное моделирование течений жидкости и газа со сложной геометрией, особенно с движущимися элементами или деформируемыми границами, представляет собой довольно сложную задачу. В настоящий момент существует два основных подхода численного моделирования задач сложной геометрии: методы на основе согласованных сеток, отслеживающих границы области, и методы погруженных (затопленных) границ. В общепринятом подходе на основе согласован-

ных структурированных и неструктурированных сеток узлы расчетной сетки совпадают с границей области, что позволяет напрямую накладывать граничные условия в узлах сетки. Основной сложностью использования согласованных сеток является дороговизна их построения, контроль качества вычислительных сеток и невозможность применения декартовых сеток. Построение согласованных сеток сильно усложняется для геометрии с движущимися или деформируемыми границами, так как требует непрерывной адаптации или построения новой сетки с интерполяцией решения со старой сетки на новую. Метод погруженных границ позволяет избежать затрат и сложностей, связанных с построением согласованных сеток, и дает возможность численного моделирования с использованием декартовых сеток посредством изменений уравнений, обеспечивающих выполнение граничных условий без сосредоточения узлов сетки вдоль поверхности. Представлен краткий обзор метода характеристических штрафных функций (МХШФ), представляющего отдельный подкласс дифференциальных методов погруженных границ, в которых эффект присутствия объектов сложной геометрии достигается посредством введения дополнительных объемных источников членов в дифференциальные уравнения, обеспечивающих возможность накладывать общие однородные и неоднородные граничные условия Дирихле, Неймана и Робена. Метод характеристических штрафных функций довольно гибок и применим для решения как параболических, так и гиперболических систем уравнений, при этом, МХШФ даёт возможность контролировать ошибку численного решения пенализированных уравнений через штрафные параметры. Применимость метода характеристических штрафных функций, общность формулировки и возможность накладывать произвольные граничные условия на стационарных и подвижных границах, по функциональности, гибкости и простоте применения близкая к определению аналитических граничных условий, продемонстрированы на примерах сверхзвуковых/дозвуковых вязких/невязких течений со сложной геометрией. Продемонстрирована эффективность метода характеристических штрафных функций при совместном использовании с сеточной адаптацией, позволяющей локальное разрешение сложной геометрии с заданной точностью без чрезмерного разрешения вдали от границ, включая моделирование обтекания объектов с движущимися и деформируемыми границами.

22.06-01.166 Применение метода характеристических штрафных функций для численного моделирования турбулентного пограничного слоя. *Васильев О.В., Жданова Н.С. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН, 2022, с. 99-100. Рус.

Известно, что для численного решения задач аэродинамики, характеризующихся высоким числом Рейнольдса, необходимо высокое разрешение расчетной сетки вблизи границы обтекаемого тела. Это накладывает жесткие требования к объему вычислительных ресурсов, увеличивает время счета задачи и усложняет построение самой сетки. Ограничения на размер расчетных ячеек вблизи поверхности тела могут быть заметно снижены применением методов на основе пристеночных функций, что достигается заменой граничных условий прилипания на поверхности тела условием сшивки пристеночной функции с внешней областью турбулентного пограничного слоя. Пристеночные функции дают возможность переноса касательных напряжений из внешней области пограничного слоя на поверхность тела посредством использования условия проскальзывания, задаваемое в неявном виде пристеночной функцией. В традиционных подходах граничные условия определяются путем решения нелинейных уравнений в точке сшивки, при этом сама точка сшивки заранее не известна, так как неявно задана расстоянием от стенки, нормированным на масштаб вязкой длины, который, в свою очередь, является функцией касательного напряжения на стенке. Основная идея разработанного метода заключается в замене алгебраического условия сшивки внешнего решения с пристеночной функцией на дифференциальную формулировку, позволяющую использовать обобщение метода характеристических штрафных функций для переноса касательного напряжения из внешней области пограничного слоя

на поверхность тела. При этом область сшивки задается неявно через локализованный источниковый член в уравнении пограничного слоя, записанный как функция расстояния от стенки, нормированного на масштаб вязкой длины. Такой подход позволяет, во-первых, полностью устранить плохо-определенное условие точки сшивки решений и, во-вторых, свести систему дифференциальных уравнений с нелинейными алгебраическими связями к системе уравнений с дифференциальными обратными связями, основанную на методе характеристических штрафных функций и обеспечивающую эту связь. Последнее обстоятельство определяет возможное развитие метода, связанное с применением дифференциальных пристеночных функций (для задач с сильными отрывами). В целом, новый метод позволяет заметно снизить требования к пристеночному разрешению расчетной сетки без существенного усложнения вычислительного алгоритма. Численная реализация метода проведена на базе программного комплекса NOISEtte с применением вершинноцентрированного метода контрольных объемов и EBR (Edge Based Reconstruction) схемы повышенной точности. Возможности метода показаны на примере численного решения задач о течении в канале и обтекания плоской пластины при больших числах Рейнольдса. Используются различные способы задания граничных условий на твердой стенке: применение согласованных с границей сеток и метод погруженных границ.

22.06-01.167 Расчетно-экспериментальные исследования акустических характеристик образцов звукопоглощающих конструкций при нормальном падении звуковой волны с помощью различных методов. *Васкцов И.А., Кустов О.Ю., Пальчиковский В.В., Храмов И.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН, 2022, с. 101-102. Рус.

Звукопоглощающие конструкции (ЗПК) являются наиболее эффективным средством снижения шума вентилятора авиационного двигателя. основополагающей характеристикой ЗПК является ее импеданс — комплексная величина, которая зависит от геометрических параметров ЗПК и от специфических внешних условий эксплуатации. Методы экспериментального определения импеданса ЗПК имеют некоторые недостатки. Данные методы базируются на микрофонных измерениях, при этом микрофоны размещаются на стенках экспериментальных установок или исследуемых образцов (в случае многослойных ЗПК такое размещение микрофонов весьма проблематично). При этом результаты экспериментального определения импеданса ЗПК, полученные с помощью различных методов на различных установках отличаются не только от результатов прогнозирования импеданса по расчетным моделям, но и между собой. Другим способом исследования акустических характеристик образцов звукопоглощающих конструкций является численное моделирование. Такой подход может применяться как для прямой симуляции натурального эксперимента по испытаниям образца ЗПК, так и для исследования ряда физических величин внутри и на поверхности ЗПК, что в дальнейшем можно использовать для уточнения моделей прогнозирования импеданса, а также коррекции методов экспериментального исследования ЗПК. В работе рассматриваются акустические характеристики образцов ЗПК, получаемые с помощью различных методов в интерферометре нормального падения при высоких уровнях звукового давления. В ходе эксперимента использовались стандартизованный метод передаточной функции и метод Дина. Численное моделирование основывалось на решении нестационарной газодинамической задачи распространения звуковой волны внутри интерферометра нормального падения с установленным образцом звукопоглощающей конструкции. В ходе расчета на каждом временном шаге производилась запись сигналов давления в точках, имитирующих микрофоны на стенке интерферометра и зонды на лицевой и тыльной поверхностях образцов. Полученные сигналы обрабатывались аналогично эксперименту. Результаты полученные с помощью численного моделирования имеют хорошее соответствие с результатами эксперимента. Однако, было выявлено отличие результатов, получаемых по методу передаточной функции и методу Дина. Данный эффект наблюдался, как в ходе

экспериментальных работ, так и в ходе численных исследований. Для объяснения причин отличий результатов, получаемых с помощью различных методов, был разработан оригинальный метод обработки результатов численного моделирования. Данный метод позволяет определять импеданс непосредственно из соотношения акустического давления на поверхности к акустической скорости. Полученные результаты демонстрируют, что с использованием метода передаточной функции определяется импеданс именно лицевой поверхности образца ЗПК, а с помощью метода Дина, определяется импеданс отдельных ячеек.

22.06-01.168 Измерение вибрации в полёте в районе центроплана и на кресле пилота пассажирского самолета. *Воронков А.А., Вишняков А.Н., Лесных Т.О., Иванова Е.В., Паранин Г.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 103-106. Рус.

Улучшение комфорта пассажиров и снижение утомляемости экипажа в пассажирских самолетах, а также ужесточение требований к характеристикам внутренней вибрации как со стороны авиационных властей, так и со стороны авиаперевозчиков делают актуальным инструментальный контроль фактических уровней вибрации. В рамках мероприятий по улучшению комфорта пассажирского салона самолета были выполнены работы по выявлению источников внутренней вибрации и определению ее характеристик. Установлено наличие во время полёта существенной составляющей вибрации на частоте 56,8 Гц.

22.06-01.169 Мучительная индустриализация научного CFD кода для гибридных суперкомпьютеров. *Горобец А.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 107-108. Рус.

Рассматривается гетерогенный программный комплекс NOISEtte для моделирования турбулентных течений и аэродинамического шума от них. Для распараллеливания используются стандарты MPI, OpenMP и OpenCL, что позволяет задействовать много CPU и GPU, причем разных производителей.

22.06-01.170 Численное моделирование криволинейного турбулентного следа при наличии неблагоприятного градиента давления. *Гусева Е.К., Стрелец М.Х., Травин А.К., Шур М.Л. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 109-113. Рус.

Надежный расчет характеристик криволинейных турбулентных следов, подверженных воздействию неблагоприятного градиента давления (НГД), является необходимым элементом расчетной оптимизации крыльев современных пассажирских самолетов, в которых для повышения подъемной силы при малых скоростях полета (на режимах взлета и посадки) применяется механизация крыла. При этом следы предкрылка и основного крыла попадают в область НГД, индуцированного отклоненным закрылком, что приводит к увеличению поперечной ширины следа и появлению в нем сильно заторможенной области или даже формированию локальной зоны возвратного течения («висячей» зоны отрыва). Это, в свою очередь, влечет за собой уменьшение эффективного угла поворота следа и ограничение максимальной подъемной силы. Оптимизации таких крыльев требует многовариантных расчетов на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса (RANS) в сочетании с полумпирическими моделями турбулентности, которые на протяжении многих лет были и до сих пор остаются основным вычислительным инструментом таких расчетов при практически значимых (высоких) числах Рейнольдса.

22.06-01.171 Численный анализ эволюции интенсивных аэродинамических струй в задачах с неплоской геометрией. *Демин И.Ю., Гурбатов С.Н., Лисин А.А., Карabasов С.А. Вычислительный эксперимент в аэроаку-*

стике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 114-115. Рус.

Представлена гибридная акустическая модель для оценки спектральной плотности шума на больших расстояниях от сверхзвуковых струй. В ближней зоне задачи, включающей струю и ее ближнее акустическое поле, решаются уравнения Навье—Стокса с учетом моделирования турбулентности и ударных волн (скачков уплотнения), и затем происходит расчет трехмерного акустического переноса. Полученное решение для ближнего поля используется в качестве граничного условия для эволюционного уравнения Бюргерса. Для решения последнего разработана эффективная численная схема в спектральной области с учетом неплоской задачи (сферическая и цилиндрическая расходимость) звукопереноса. Представлены примеры расчета сверхзвуковых струй из эксперимента LTRAC (Университета Монаш, Австралия) и TUTA (Техасский Университет, США).

22.06-01.172 Построение вычислительной модели эластической турбулентности в двумерной ячейке для течения Колмогорова. *Денисенко В.В., Фортнова С.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 116-118. Рус.

Целью работы является численное исследование явления полимерной турбулентности в двумерной ограниченной области (квадратной ячейке) при воздействии внешней силы. Возникновение и развитие турбулентного режима изучается на примере течения Колмогорова. Методами прямого численного моделирования течения вязкоупругой среды при различных параметрах течения и полимеров изучены различные типы течения, включая режим эластической турбулентности и режим поднижения сопротивления.

22.06-01.173 Проблемы расчетных и экспериментальных исследований эффективности экранирования авиационных некомпактных источников шума. *Денисов С.Л., Остриков Н.Н. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 119-122. Рус.

Проблема снижения шума самолётов на местности является одной из приоритетных задач в современной гражданской авиации, решение которой позволяет не только удовлетворить экологическим требованиям, но и обеспечить конкурентное преимущество. Хорошо известно, что одним из основных источников шума самолётов на местности является шум двигателя, а одним из возможных и достаточно эффективных способов его снижения является эффект экранирования с помощью различных элементов конструкции планера самолёта. Проблемам реализации эффекта экранирования шума авиационной силовой установки с точки зрения анализа возможности проведения расчётных и экспериментальных исследований и посвящен данный доклад. Авиационная силовая установка представляет собой сложный акустически некомпактный источник шума, который в случае двухконтурного турбовентиляторного двигателя можно представить в виде совокупности источников различной интенсивности, направленности излучения и спектральных свойств. Основными источниками шума двухконтурного турбовентиляторного двигателя следует признать шум вентилятора в передней полусфере, шум внешнего контура в задней полусфере и шум струи в задней полусфере. Анализ этих источников шума по отдельности представляет собой достаточно непростую задачу, в решении которой в последнее время намечался существенный прогресс благодаря активному использованию высокопроизводительных расчётных методов, а также углублению понимания сути физических явлений, лежащих в основе процессов генерации звука нестационарными потоками, что позволило развить различные (эмпирически, полуэмпирические или иные) расчётные модели, адекватно описывающие излучение звука в интересующем диапазоне параметров.

22.06-01.174 Сравнительный анализ численного и экспериментального исследования двумерной турбулентности в ячейке с твердыми стенками. *Долуденко А.Н., Фортова С.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 123-125. Рус.

Турбулентность — это хаотическое состояние, возникающее в жидкости под воздействием внешнего воздействия при больших числах Рейнольдса Re . В трехмерной турбулентности образуется широкий диапазон масштабов, где наблюдаются хаотические пульсации скорости. Наличие такого широкого диапазона связано с каскадом энергии, которая передается благодаря нелинейному взаимодействию от интегрального масштаба турбулентности (где она создается за счет накачки) ко все более мелким масштабам вплоть до диссипативного масштаба, где включается вязкость, которая преобразует кинетическую энергию в тепло. В тонких слоях жидкости турбулентность эффективно является двумерной на масштабах, превышающих толщину слоя жидкости. При этом основной особенностью двумерного турбулентного течения, постоянно возбуждаемого внешней силой, является возникновение обратного энергетического каскада. За счет нелинейных эффектов пространственный масштаб вихрей, создаваемых внешней силой, увеличивается до тех пор, пока рост не будет остановлен размером ячейки. В последнем случае энергия накапливается на этих масштабах. При определенных условиях накопление приводит к возникновению системы когерентных вихрей. Наблюдаемые вихри имеют размер сравнимый с размером ячейки. Физический эксперимент, используемый в данной работе для сравнения с численным экспериментом, проводится в ограниченном замкнутом объеме — экспериментальной ячейке, ограниченной стенками. Для качественного сравнения расчетов с этим экспериментом при численном моделировании учитывались условия прилипания к стенкам и наличие трения о дно.

22.06-01.175 Применение нелинейной модели турбулентности SST-NL к расчётам течений с выраженной анизотропией напряжений Рейнольдса. *Жаворонкин А.О., Курсаков И.А., Матяш Е.С., Савельев А.А., Трошин А.И. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 136-137. Рус.

Основным инструментом, применяемым при исследовании обтекания летательного аппарата в настоящее время, являются расчёты, основанные на решении осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса, замкнутых моделью турбулентности. В настоящее время наиболее распространёнными моделями турбулентности являются модели Спаларта—Аллмараса (SA) и Ментера (SST) и их модификации. Однако оба этих семейства основаны на гипотезе Буссинеска, что ограничивает их применимость классами течений, в которых на течение влияет единственная компонента тензора напряжений. В более сложных течениях (например, в угловых течениях или отрывах) проявляются эффекты анизотропии турбулентности, которые не могут быть описаны в рамках гипотезы Буссинеска. Известным примером является угловое течение вблизи корня крыла: расчёты по буссинесковским моделям предсказывают в этом месте обширный отрыв даже при небольших углах атаки, что не подтверждается экспериментальными исследованиями. Этот отрыв влияет на картину течения над всей поверхностью крыла. Для расчёта таких течений необходимо использовать модели турбулентности, способные воспроизводить анизотропию тензора напряжений Рейнольдса. К их числу относятся дифференциальные (DRSM) и алгебраические (EARSМ) модели для рейнольдсовых напряжений. К классу последних можно также отнести нелинейные расширения буссинесковских моделей, поскольку итоговые формулы для тензора напряжений в них имеют тот же вид, что и в EARSМ. В работе приводятся результаты тестирования модели турбулентности с нелинейной турбулентной вязкостью SST-NL, реализованной в программе EWT—ЦАГИ. Рассматриваются течение в прямоугольном ка-

нале, трансзвуковое обтекание модели DLR-F6 2, а также тестовый случай NASA Juncture Flow.

22.06-01.176 RANS расчеты интенсивных отрывных и смерчевых течений на структурированных пластинах и стенках каналов в цифровых двойниках экспериментальных стендов Института механики МГУ и КАЗНЦ РАН. *Исаев С.А., Судаков А.Г., Никущенко Д.В., Усачов А.Е., Чулюнин А.Ю., Дубко Е.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 151-157. Рус.

Тестирование современных, в особенности, отечественных пакетных технологий на цифровых аналогах экспериментальных стендов РФ представляет актуальную задачу для обеспечения информационной безопасности. Мировую значимость такому тестированию придает выбор в качестве решаемых задач самоорганизующихся высокоинтенсивных отрывных и смерчевых пристеночных потоков около структурированных поверхностей с наклонными канавками на пластине и стенке узкого канала. Представляются некоторые результаты проведенных исследований и обозначаются их желаемые перспективы.

22.06-01.177 Граничные условия для поверхностей, реагирующих на касательное акустическое воздействие. *Канев Н.Г. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 156-157. Рус.

В настоящее время теоретически и экспериментально исследуются среды нового типа — акустические метаматериалы — искусственно создаваемые структуры из элементов малых обычных размеров, которые могут иметь необычные для обычных сред свойства. Если такая структура покрывает некоторую поверхность и существенно изменяет ее исходные свойства, то говорят об метасповерхностях. Чаще всего для создания метасповерхностей используют резонансные ячейки, например, независимые или связанные резонаторы Гельмгольца. Известно, что если расстояние между независимыми одинаковыми резонаторами Гельмгольца меньше половины длины волны, то свойства поверхности можно описать эквивалентным импедансом в том смысле, что метасповерхность обеспечивает такое же отражение звука в дальнейшем поле, как и обычная поверхность, импеданс которой равен эквивалентному импедансу метасповерхности. В представленной работе рассматривается абсолютно жесткая поверхность, покрытая дипольными резонаторами (рис. 1), моменты которых направлены вдоль поверхности. Физическая модель дипольного резонатора — несжимаемая сфера на пружине. Движение диполя вызывается движением среды в его окрестности, поэтому поверхность с дипольными резонаторами реагирует на градиент звукового давления по направлению вдоль момента диполей, т.е. на касательное акустическое воздействие. При нормальном падении звуковой волны (по оси z , резонаторы остаются неподвижными, поэтому поверхность не «чувствует» воздействия со стороны звукового поля и остается абсолютно жесткой. Податливость поверхности проявляется только при наклонном падении. Предлагается описывать свойства такой поверхности с помощью граничного условия, представляющего отношение градиента звукового поля вдоль поверхности к ее нормальной скорости, названное тангенциальным импедансом. Получен коэффициент отражения плоской звуковой волны, падающей на поверхность под произвольным углом, в зависимости от тангенциального импеданса. Обсуждается возможность создания поляризованной метасповерхности, образованной резонаторами, момент которых имеет фиксированное направление.

22.06-01.178 Численный биформинг и метод декомпозиции по динамическим модам для анализа акустического источника в вычислительном эксперименте. *Каракулев А.Е., Козубская Т.К., Плаксин Г.М., Софронов И.Л. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022,

с. 158-160. Рус.

Анализ внешних акустических полей на основе данных газодинамических расчетов самолета и/или элементов его конструкции является важной составляющей процесса проектирования будущих изделий. Рассматривается подход совместного применения методов численного бимформинга и метода разложения на динамические моды (DMD) для выявления пространственных и частотных характеристик источников звука, генерируемого газодинамическим течением в некоторой области интереса. Численный бимформинг решает задачу восстановления непрерывной функции акустического источника на основе данных, получаемых при численном моделировании задач обтекания. Было показано, что при соблюдении определенных ограничений на шаг сетки источника и сетки микрофонов построенная матрица оператора бимформинга обладает хорошей обусловленностью, а решение тестовых задач производится с высокой точностью. Разработанный метод был применен для обработки данных, полученных в ходе вычислительного эксперимента по турбулентному обтеканию профиля крыла 30P30N с выпущенной механизацией, конфигурации, хорошо исследованной как численно, так и экспериментально. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) найденной функции источника оказалась в хорошем соответствии с результатами анализа поля давления газодинамического расчета, показывающего наличие превалирующего источника звука вблизи зазора между предкрылком и крылом с теми же частотами. Для уточнения характеристик акустического поля и извлечения дополнительной информации из газодинамических расчетов ранее предложена концепция применения численного бимформинга и метода DMD для анализа данных вычислительного эксперимента, накапливаемых на поверхности FWH. В применении к расчетам было показано, что полученная бимформингом АЧХ источника с подъемами вблизи частот $Sh=11, 15.5, 21.5, 27$ хорошо согласуется с основными слабозатухающими модами, предоставляемыми анализом DMD, как по частотам, так и по локализации источника между предкрылком и крылом. Представлены результаты по продолжению исследований акустического поля, создаваемого турбулентным обтеканием профиля 30P30N.

22.06-01.179 Сопоставление численных алгоритмов на примере решения задачи о взаимодействии движущегося вихря с ударной волной. *Кирюшина М.А., Елизарова Т.Г., Епизин А.С.* *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 161-163. Рус.

С помощью квазигазодинамического (КГД) метода решения задач газовой динамики, включенного в открытую платформу OpenFOAM в качестве вычислительного ядра QGDFoam, решена тестовая задача о нестационарном взаимодействии вихревого течения с ударной волной.

22.06-01.180 Применение разложения по динамическим модам для поиска параметров неустойчивости вихревого следа. *Клюев Н.А.* *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 164-165. Рус.

Метод разложения по динамическим модам (dynamic mode decomposition — DMD) был ранее представлен для анализа результатов расчетов и экспериментов. В качестве входных данных в разложении по динамическим модам используются конечномерные вектора измерений, полученные через равные промежутки вдоль некоторого выделенного направления. Центральной идеей разложения по динамическим модам является предположение линейной связи между векторами наблюдений. В работе разложение по динамическим модам применялось для поиска характеристик мод неустойчивости в расчете дальнего вихревого следа за самолётом Boeing 747 в турбулентной атмосфере.

22.06-01.181 Численное исследование взаимодействия пограничного слоя и затупленного тела в сверхзвуковом потоке. *Колесник Е.В., Бабич Е.В., Смирнов-*

ский А.А., Смирнов Е.М. *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 166-170. Рус.

Исследование структуры течения, возникающей при обтекании сверхзвуковым потоком какой-либо конструкции, закреплённой на обтекаемой поверхности, важно для многих практических приложений, прежде всего, в авиакосмической отрасли. При обтекании затупленного тела, установленного на пластине, вдоль которой развивается пограничный слой, возникает сложная вихревая структура, с изменяющейся от случая к случаю конфигурацией системы подковообразных вихрей. При сверхзвуковом обтекании картина взаимодействия становится еще сложнее из-за формирования скачков уплотнения. Возникающая многовихревая структура течения приводит к сильно неоднородному распределению параметров в области сочленения тела и пластины. С практической точки зрения наиболее важно правильно предсказывать тепловые и динамические нагрузки в этой области. Изучение возникающих сложных трехмерных явлений вязко-невязкого взаимодействия очень интересно и в теоретическом отношении. Настоящая работа посвящена численному моделированию ламинарных (стационарных и нестационарных автоколебательных) режимов обтекания различных по геометрии конфигураций затупленного тела.

22.06-01.182 Проблемы применения численных методов для поиска оптимальных значений импеданса ЗПК с целью снижения шума самолетов на местности. *Копьев В.Ф., Острижов Н.Н., Яковец М.А., Баикатов В.В.* *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 180-184. Рус.

Наиболее эффективным способом снижения шума вентилятора авиадвигателя является облицовка его каналов звукопоглощающими конструкциями (ЗПК), параметры которых подбираются таким образом, чтобы обеспечить максимальное снижение шума на местности на различных режимах работы двигателя в течение взлетно-посадочного цикла полета самолета. В отличие от строительной акустики, в которой успех звукопоглощения звука на стенках помещений определяется за счет увеличения коэффициента звукопоглощения материалов облицовок, создание эффективных ЗПК для ТРДД является комплексной научной проблемой, включающей в себя: решение специфических волноводных прямых и обратных задач, включая дифракционную задачу излучения звука из открытого конца волновода, с целью определения оптимальных импедансных граничных условий, обеспечивающего наибольшее затухание звука в канале при заданных характеристиках источника звука (вентилятора) и геометрических параметров системы; разработку конструкций ЗПК, включая создание новых материалов для их заполнения, которые могут реализовать заданный оптимальный импеданс в широком диапазоне частот; разработку технологий изготовления ЗПК, позволяющих обеспечить многочисленные требования к конструкциям, размещаемым в ТРДД.

22.06-01.183 Моделирование обтекания винтов мультикоптеров. *Косушкин К.Г., Крицкий В.С., Миргазов Р.М.* *Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 187-191. Рус.

Для мультикоптеров — беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) характерно большое количество несущих винтов от четырех, которые могут занимать сложные пространственные положения и, соответственно, оказывать сильное индуктивное влияние друг на друга, особенно при больших поступательных скоростях полета. Учет взаимовлияния необходимо учитывать при оценке аэродинамических и акустических характеристик, при разработке систем автоматического управления БПЛА. Здесь приводятся результаты расчетного исследования аэродинамических характеристик несущих систем беспилотных мультикоптеров различных компоновок, выявление особенно-

стей обтекания винтов, оценка взаимовлияния винтов друг на друга. Рассматривались комбинации из четырех, восьми (четыре соосных) и четырнадцать двухлопастных винтов.

22.06-01.184 Численное моделирование развития неустойчивостей в сверхзвуковых струях прямоугольного сечения. *Кудрявцев А.Н., Хотяновский Д.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 197-199. Рус.

На основе модели Навье—Стокса—Фурье для сжимаемого совершенного газа проводится вихререзающее численное моделирование развития неустойчивостей в сверхзвуковых струях, истекающих из прямоугольных сопел. Представлены результаты моделирования для изобарической струи одноатомного газа (аргон), истекающей в спутный внешний поток из сопла квадратного сечения.

22.06-01.185 О пространственной периодичности поля скоростей в пограничном слое на 3D цилиндре. *Кусюмов А.Н., Кусюмов С.А., Михайлов С.А., Романова Е.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 200-202. Рус.

На основе решения уравнений Нвье-Стокса (DNS) рассматривается задача прямого численного моделирования нестационарного 3D обтекания кругового цилиндра в потоке несжимаемой жидкости (газа) для докритического числа Рейнольдса $Re=3900$. Аналогичная задача моделирования 3D обтекания изолированного цилиндра рассматривалась в работах различных авторов как на основе DNS моделирования, так и с применением вихререзающих моделей (LES) турбулентности. Интерес к данной постановке задачи объясняется возможностью воспроизведения различных физических особенностей, включая отрыв (ламинарный) пограничного слоя, образование сдвиговых слоев, вихревой след (дорожка Кармана). На некотором удалении от поверхности цилиндра вниз по потоку также находится потенциально неустойчивая область, где возникает турбулентность. Это позволяет воспроизводить различные участки спектра осциллирующих параметров потока, включая энергетическую и инерциальную подобласти спектра. В работе задача моделирования решается как для условий обтекания изолированного цилиндра, так и с использованием периодических граничных условий для воспроизведения обтекания цилиндра в составе решетки из цилиндров.

22.06-01.186 Математическое моделирование распространения детонационной волны в неоднородной среде в системе координат фронта волны. *Лопато А.И. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 203-207. Рус.

Целью работы является математическое моделирование распространения детонационной волны по неоднородной смеси с синусоидальным изменением плотности перед фронтом лидирующей ударной волны.

22.06-01.187 Применение искусственных нейронных сетей для оптимизации аэродинамических характеристик профилей с учетом нелинейных эффектов. *Лысенков А.В., Матвиш С.В., Ореховский В.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 208-214. Рус.

Современные методы вычислительной аэродинамики (CFD) с использованием многопроцессорной вычислительной техники позволяют получать достоверные данные, точность которых достаточна для этапа проектирования. Методы, основанные на решении уравнений RANS, позволяют получать характеристики в том числе и на нелинейных режимах до наступления сильных отрывных течений. Однако расчеты с использованием та-

ких методов все еще остаются «дорогими» в смысле времени вычислений. При обработке и анализе полученных данных возникают задачи по быстрому получению характеристик в тех точках, в которых не было проведено расчетов, по выявлению основных закономерностей, по поиску оптимальных геометрий и по прогнозированию возможных улучшений характеристик. Все эти задачи могут быть решены с использованием методов машинного обучения. В работе рассматривается обучение глубоких нейронных сетей (Deep Neural Networks) для аппроксимации характеристик профилей, в том числе на предотрывных режимах.

22.06-01.188 Анализ RANS/ILES методом влияния дросселирования и системы слива на спектральные характеристики пульсаций давления в спаренном сверхзвуковом воздуховозборнике. *Любимов Д.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 211-215. Рус.

С помощью RANS/ILES метода высокого разрешения исследовано течение в спаренном модельном сверхзвуковом воздуховозборнике в зависимости от дросселирования каждого из них и особенностей системы слива пограничного слоя.

22.06-01.189 О возможности снижения шума струи перспективного СПС при помощи впрыска воды. *Маслов В.П., Миронов А.К., Мышенков Е.В., Семёнов П.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 216-217. Рус.

Проведено исследование возможности снижения шума выхлопной струи двигателя перспективного СПС с помощью струйных шумоглушителей, представляющих собой набор насадок, расположенных вблизи среза реактивного сопла, через которые в выхлопную струю инжектируется вода. Рассматривался двигатель со смешением потоков и степенью двухконтурности порядка 2.2—2.6.

22.06-01.190 Влияние микропрофилирования на неустойчивость поперечного течения на сверхзвуковом стреловидном крыле. *Новиков А.В., Образ А.О., Фёдоров А.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 224-227. Рус.

Около поверхности стреловидного (скользящего) крыла при типичной компоновке сверхзвукового самолёта развивается поперечное течение, которое направлено перпендикулярно к линии тока на внешней границе пограничного слоя (ПС). В таком пограничном слое может развиваться неустойчивость поперечного течения (или CF-неустойчивость, от английского термина cross flow). В условиях полёта, как правило, доминирует стационарная CF-неустойчивость. Она эффективно возбуждается микронеровностями обшивки крыла и представляет собой вихри, которые развиваются вдоль линий тока вязкого обтекания и локализованы в пограничном слое. Если начальная амплитуда CF-неустойчивости достаточно мала, её развитие хорошо описывается линейной теорией устойчивости вплоть до критических амплитуд, начиная с которых включаются нелинейные механизмы. Последние приводят ко вторичной неустойчивости и ламинарно-турбулентному переходу (ЛТП). CF-неустойчивость, как правило, вызывает ЛТП раньше, чем развиваются другие неустойчивые моды. Поэтому для ламинаризации обтекания стреловидных крыльев прежде всего необходимо либо стабилизировать CF-неустойчивости, либо задержать нелинейные процессы её распада в турбулентность. Рассматривается возможность стабилизации CF-неустойчивости с помощью ряда длинных углублений, которые ориентированы примерно вдоль передней кромки скользящего крыла и имеют ширину, соизмеримую с толщиной пограничного слоя. Такое микропрофилирование (МП) вызывает эффект скольжения основного (невозмущённого) течения, что приводит к уменьше-

нию скорости поперечного течения и, как следствие, снижению инкрементов роста СФ-неустойчивости. Подобный способ затягивания ЛТП до сих пор подробно не исследовался. В работе с помощью численного моделирования и расчётов по линейной теории устойчивости (ЛТУ) исследуется влияние микропрофилирования на неустойчивость поперечного течения на модельном стреловидном крыле при обтекании потоком с числом Маха $M_\infty=2$.

22.06-01.191 Влияние шума винта на показания микрофонов, используемых для детекции отрывного течения в летном эксперименте. Поливанов П.А., Маркин В.В., Сидоренко А.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 231-234. Рус.

Малые беспилотные летательные аппараты (БПЛА) часто совершают полеты в условиях турбулентной атмосферы. Для этих условий характерно наличие резких порывов ветра, что, с учетом небольших скоростей полета (10–30 м/с), может приводить к выходу БПЛА на критические углы атаки. В связи с этим, вопрос обнаружения отрыва потока на БПЛА по показаниям каких-либо датчиков приобретает большое значение. Ранее были исследованы вопросы применимости микрофонов для определения отрыва течения на малом БПЛА в аэродинамической трубе. Было показано, что акустический шум, генерируемый винтом, может существенно затруднить процесс детектирования отрывного течения по показаниям нестационарных датчиков. Целью этой работы является разработка методики позволяющей определять отрыв потока по показаниям микрофонов с учетом влияния шума винта в полете.

22.06-01.192 Об учете переменного импеданса при расчете распространения звука в прямоугольном канале. Синер А.А., Пальчиковский В.В., Храмов И.В., Корин И.А., Сорокин Е.В., Старцев А.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 241. Рус.

При распространении звука в каналах авиационного двигателя со звукопоглощающими стенками имеет место существенное изменение уровня звука по длине канала. При этом, величина акустического импеданса, задаваемого в качестве граничного условия на стенке канала, существенно зависит от уровня звукового давления в падающей волне. Таким образом, для выполнения правильного расчета затухания звука в каналах двигателя необходимо учитывать изменение импеданса по длине канала, вызванное изменением уровня звукового давления в волне. В работе рассматривается вопрос о расчетной оценке изменений импеданса ЗПК при изменении уровня звукового давления. Значения импеданса определяются из нестационарного расчета течения газа в одиночном резонаторе, установленном в боковой стенке прямоугольного канала. Для расчета течения используются нестационарные уравнения движения вязкого теплопроводного газа. Расчет проводится в коммерческом газодинамическом пакете для случая без касательного потока вдоль стенок канала. Полученные зависимости используются для задания граничных условий при расчете распространения звука в прямоугольном канале с импедансной стенкой с помощью уравнений Эйлера в частотной области. Расчеты распространения звука выполняются итерационно, граничные условия на поглощающей стенке уточняются по уровням звукового давления, полученным на предыдущей итерации. Итоговые результаты расчетов сравниваются с результатами эксперимента. По результатам работы формулируются методические рекомендации по выполнению расчетов с переменным импедансом на стенках канала.

22.06-01.193 Порождение возмущений в сверхзвуковом пограничном слое на базе линейной теории устойчивости. Фёдоров А.В., Чувазов П.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 244-247. Рус.

Численное исследование механизма ламинаротурбулентного перехода (ЛТП) в сверхзвуковых пограничных слоях (ПС) при малом уровне внешнего воздействия состоит из анализа трёх стадий: возбуждение собственных возмущений (мод) пограничного слоя внешним воздействием, рост собственных возмущений, их нелинейный распад с образованием турбулентных пятен. Из-за большой протяжённости прямое численное моделирование (ПЧМ) стадии 2 трудозатратно. Однако эта стадия хорошо описывается в рамках линейной теории устойчивости (ЛТУ). В работе *P. V. Chuvakhov, A. V. Fedorov, A. O. Obraz. Numerical simulation of turbulent spots generated by unstable wave packets in a hypersonic boundary layer. Computers and Fluids, v.162, 2018, pp. 26 — 38* на основе ЛТУ сформулирован подход, который позволил теоретически описать волновой пакет второй неустойчивой моды вдали от места его возбуждения. Среди волн второй моды ПС преобладают плоские волны, для которых теоретическая задача расщепляется по координатам. В настоящей работе этот подход обобщается на случай трёхмерных наклонных волн первой моды. При обобщении использован математический аппарат теории функций комплексного переменного совместно с методом перевала. В результате получены вычислительно устойчивые аналитические выражения для порождения волнового пакета в заданном сечении пограничного слоя.

22.06-01.194 Разработка компрессора ГТЭ-170.2. Воробьев А.К., Малышев Ф.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 268-270. Рус.

Повышение технико-экономических показателей газотурбинных установок является одной из основных задач современного газотурбомашиностроения. Активное внедрение и распространение методов расчета вязкого трехмерного течения в ступенях проточных частей газотурбинных установок позволяет использовать этот подход в задачах повышения эффективности и мощности турбомашин. В ходе выполнения работ по проектированию установки ГТЭ-170.2 на повышенные параметры поставлена задача разработать компрессор с увеличенными расходом воздуха на 6,4%, степенью сжатия на 8,3% относительно базового компрессора. Также задание предполагало увеличение коэффициента полезного действия на величину не менее 0,5% и сохранение запасов устойчивой работы в сравнении с базовым компрессором. По результатам работ спроектирована проточная часть компрессора ГТЭ-170.2, соответствующая требованиям технического задания.

22.06-01.195 Анализ влияния формы смесителя на акустические характеристики выходного устройства двигателя для регионального самолета средствами вычислительного эксперимента. Косоногова А.В., Пятунин К.Р., Хантальн Д.С. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 279-280. Рус.

При разработке новых модификаций турбореактивных двигателей для региональной авиации, которые создавались и проходили сертификацию в начале двухтысячных годов весьма актуальной становится задача обеспечения более жестких требований по уровню шума, установленными в главе 14 стандарта ИКАО при максимальном уровне унификации конструкции двигателя с прототипом. Особенную актуальность этот вопрос приобретает если двигатель имеет невысокую степень двухконтурности и смешение потоков, т.к. в таких двигателях резервы по снижению шума с помощью модернизации системы шумоглушения минимальны, а одним из основных источников шума является реактивная струя. Численное моделирование шума, генерируемого при истечении реактивной струи рассматривалось множеством авторов, однако большинство работ содержат результаты моделирования модельных сопел, а значительная часть работ по полноразмерным выходным устройствам авиационных двигателей относится к соплам с отдельным истечением. В работе представлены результаты численного моделирования генерации и распространения шума при истечении реак-

тивной струи из полноразмерного сопла турбореактивного двигателя со смешением потоков. Моделирование выполнено для двух конфигураций смесителя и проанализировано его влияние на акустические характеристики выходного устройства.

22.06-01.196 **Нестационарное взаимодействие входных камер и рабочих колёс в стационарных центробежных компрессорах.** *Любимов А.Н., Чеглаков И.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 281-282. Рус.

Основным направлением деятельности фирмы является глубокая модернизация проточных частей стационарных центробежных компрессоров (ЦК) с сохранением существующего корпуса. Существующий корпус вносит свои геометрические ограничения в возможный облик новой проточной части. Имеются ограничения по диаметру и осевому габариту корпуса, возможности или невозможности замены торцевых крышек, положению фланцев трубопроводов. Для достижения современного уровня КПД компрессора требуется проектировать не только лопаточные аппараты, но и входные камеры и улитки. Рассмотрено несколько реальных примеров проектирования входных камер с учётом геометрических ограничений и нестационарного влияния на рабочее колесо. Расчёты взаимного влияния были проведены в программе Numeca Fine/Open методом NLN. Определены критерии для проектирования входных камер стационарных ЦК. Будет показано влияние влияния равномерности течения в входной камере на КПД смежных рабочих колёс (РК) с разными коэффициентами расхода, показано сравнение влияния исходных и перепроектированных входных камер на течение в РК, сделан вывод о второстепенности критерия снижения коэффициента потерь в входной камере. Показано применимость метода NLN для решения данных задач в промышленном проектировании в сжатые сроки работы над проектом.

22.06-01.197 **Экспериментальные исследования системы "ступень—диффузор" на частичных режимах нагрузки.** *Семакина Е.Ю., Черкасова М.Г., Черников В.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 286-290. Рус.

На сегодняшний день большинство стационарных газовых турбин средней и большой мощностей имеют затурбинный выходной диффузор. Эффективность турбины во многом зависит от аэродинамики и восстановительной способности диффузора. Проектирование газотурбинной установки (ГТУ), как правило, проходит для номинального режима ГТУ, при этом переменные режимы рассматриваются только с точки зрения поверочных расчётов. В силу наличия в затурбинном диффузоре силовых стоек, диффузор оказывается чувствителен к смене режима из-за неоптимального обтекания стоек и образования отрывов на режимах частичной нагрузки. На экспериментальном стенде ЭТ-4 СПб политехнического университета имени Петра Великого были проведены исследования модельной системы «ступень—диффузор» созданной на основе прототипа ГТЭ-65 на частичных режимах нагрузки без учёта и с учётом переобтекаемого воздуха из компрессора в затурбинный диффузор, который необходим на режимах нагрузки до 50% мощности.

22.06-01.198 **Повышение эффективности системы шумоглушения авиадвигателя с использованием реактивного элемента.** *Халецкий Ю.Д., Почкин Я.С. Авиационные двигатели.* 2018, № 1, с. 31-34. Рус.

Разработана конструкция глушителя шума вентилятора авиационных двигателей в виде комбинации сотовых двухслойных звукопоглощающих конструкций и реактивного элемента в виде решетки пластин. Экспериментально показано, что в частотном диапазоне наибольшей чувствительности человеческого уха комбинированный глушитель снижает шум вентилятора на 2—3 дБ больше, чем традиционные сотовые двухслойные звукопоглощающие конструкции той же длины. Исследован вариант реактивного элемента глушителя в виде щелевого надроторного устройства, и оценено его влияние на шум бирота-

тивного закапотированного вентилятора. Ключевые слова: реактивный элемент, щелевое надроторное устройство, сотовые звукопоглощающие конструкции, вентилятор.

22.06-01.199 **Моделирование тонального шума турбины низкого давления.** *Нигматуллин Р.З., Терентьева Л.В. Авиационные двигатели.* 2019, № 2, с. 3-14. Рус.

На основе численного интегрирования системы нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса в трехмерной постановке определены тональные характеристики шума, генерируемого в выходном сечении двухступенчатой турбины низкого давления на разных режимах работы. Приведено сравнение результатов расчета с доступными экспериментальными данными. Ключевые слова: тональный шум, турбина низкого давления, радиально-модальный анализ, URANS.

22.06-01.200 **Управление тягой и шумом двигателей сверхзвукового пассажирского самолета на взлете.** *Мирзоян А.А., Халецкий Ю.Д. Авиационные двигатели.* 2020, № 2, с. 51-56. Рус.

Приведены расчетные оценки уровня шума сверхзвукового пассажирского самолета в сертификационных точках при учете основных источников шума двигателя—вентилятора и реактивной струи. Показано, что в зависимости от степени двухконтурности двигателей расчетные оценки уровня шума СПС на взлете, полученные при использовании программы многорежимного управления тягой двигателей, на 2,3—6,0 ЕPNдБ ниже уровней шума СПС, полученных при использовании программы управления тягой двигателей, традиционно применяемой на дозвуковых пассажирских самолетах. Ключевые слова: сверхзвуковой пассажирский самолет, программа управления тягой двигателя, степень и темп дросселирования, сертификационные точки самолета по шуму.

22.06-01.201 **Применение вычислительного эксперимента в контексте проблем авиационной акустики.** *Александров В.Г., Осипов А.А. Авиационные двигатели.* 2020, № 3, с. 15-32. Рус.

Разработаны математическая модель и расчетный комплекс, предназначенные для проведения вычислительного эксперимента и расчетного исследования в задачах аэроакустики со сложной топологией расчетной области и специфическими граничными условиями, характерными для задач данного класса. Продемонстрированы высокие технологические возможности созданного расчетного комплекса при моделировании явлений, сопряженных с распространением по проточному тракту авиационного двигателя тонального шума, характерного для работы вентилятора, компрессора и турбины ТРДД, его излучением из воздухозаборника и выходного сопла двигателя, а также глушением шума посредством присоединенных резонансных полостей различной конфигурации, размещаемых на стенках канала. Ключевые слова: аэроакустика, математическая модель, расчетный комплекс, вычислительный эксперимент.

22.06-01.202 **Некоторые тенденции современной аэроакустики.** *Халецкий Ю.Д. Авиационные двигатели.* 2020, № 3, с. 69-81. Рус.

Представлен анализ изменений значимости основных источников шума самолетов четырех категорий: бизнес-класса, региональных, ближне-среднемагистральных, дальнемагистральных. Рассмотрено изменение уровня готовности технологий снижения шума вентилятора, реактивной струи, шасси, элементов системы механизации крыла, а также эволюция систем шумоглушения силовой установки. Представлен прогноз достижения уровней шума рассмотренных категорий самолетов. Ключевые слова: шум планера, шум двигателя, источник шума, планер, вентилятор, реактивная струя, система шумоглушения.

22.06-01.203 **Расчетно-экспериментальное исследование тонального шума первой подпорной ступени ТРДД для различных режимов работы.** *Россихин А.А., Панков С.В., Милешин В.И. Авиационные двигатели.* 2020, № 4, с. 19-32. Рус.

Представлены результаты расчетных исследований тонального шума первой подпорной ступени ТРДД с высокой степенью двухконтурности для режимов работы с относительной приве-

денной частотой вращения ротора $N=53,9\%$ и $N=75,5\%$. Исследования выполнены с помощью метода расчета тонального шума многоступенчатых турбомашин, разработанного в ЦИАМ и реализованного в программном комплексе 3DAS. Проведена валидация используемого расчетного метода. Сопоставление результатов расчетов с экспериментальными данными, полученными на акустическом стенде, показало удовлетворительное соответствие. Установлено, что в целом мощность звукового излучения ступени для режима $N=75,5\%$ выше, чем для режима $N=53,9\%$, однако распределена она по большему числу тонов, в результате чего мощность излучения у наиболее заметных в спектре излучения тонов сравнима с таковой для режима $N=53,9\%$. Ключевые слова: вентилятор, подпорная ступень, многоступенчатая турбомашин, тональный шум, вычислительная аэроакустика, методы расчета в частотной области.

22.06-01.204 Возможности применения беспроводных датчиков с чувствительными элементами на поверхностных акустических волнах при испытаниях авиационных двигателей. *Швецов А.С., Меркулов А.А., Жгун С.А., Минеев Б.И., Маслов В.П. Авиационные двигатели.* 2020, № 4, с. 67-74. Рус.

Рассматривается возможность применения беспроводных датчиков с чувствительными элементами на поверхностных акустических волнах (ПАВ) при испытаниях и эксплуатации авиадвигателей. На основе анализа публикаций по данной теме показана принципиальная возможность использования датчиков на ПАВ в условиях высоких температур. Приведены результаты расчетов, демонстрирующие возможность использования подложек из лангсита для создания высокотемпературного ПАВ-датчика крутящего момента, аналогичного низкотемпературным датчикам, имеющим практическое применение. Предварительные исследования показали возможность создания беспроводного ПАВ-датчика вибродеформации для вращающихся объектов, функционирующего без токосъемных устройств. Ключевые слова: беспроводной датчик, датчик на ПАВ, высокотемпературный датчик, датчик крутящего момента, датчик вибродеформации.

22.06-01.205 Экспериментальное исследование воздействия надроторных устройств щелевого типа для улучшения аэродинамических и акустических характеристик перспективных вентиляторов. *Милешин В.И., Марков С.А., Коржнев В.Н., Халецкий Ю.Д. Авиационные двигатели.* 2021, № 1, с. 17-28. Рус.

Целью работы являлась оптимизация конфигурации надроторного устройства (НРУ) для одновременного повышения КПД, газодинамической устойчивости вентилятора и использования НРУ в качестве глушителя шума реактивного типа. Спроектированы и экспериментально исследованы три варианта НРУ щелевого типа применительно к модели однорядного вентилятора С179-2 для двухконтурного двигателя. В аэродинамических и акустических испытаниях исследовано влияние количества рядов НРУ, геометрии щелей, их взаимного расположения и высоты кольцевой полости НРУ на основные характеристики модели вентилятора С179-2. Все исследованные НРУ существенно (на 8–16%) повышают запас газодинамической устойчивости вентилятора на средних и высоких режимах, определяемых приведенной частотой вращения (75–100%), повышение КПД составило 1–2%. Анализ узкополосных спектров шума и диаграмм направленности показал, что применение НРУ данного типа существенно улучшает акустические характеристики вентилятора. Суммарно по трем сертификационным режимам снижение звуковой мощности модели вентилятора С179-2 составило 3 дБ. Ключевые слова: надроторное устройство, акустические характеристики, снижение уровня шума, аэродинамические характеристики, коэффициент полезного действия, газодинамическая устойчивость, перспективный вентилятор, вентилятор двухконтурного двигателя, турбореактивный двухконтурный двигатель.

22.06-01.206 Активное подавление шума в модели входного канала вентилятора ТРДД. *Короткин П.И., Потапов О.А., Фикс Г.Е., Фикс И.Ш., Почкин Я.С., Халецкий Ю.Д. Авиационные двигатели.* 2021, № 2, с. 7-16. Рус.

Исследованы вопросы активного подавления акустического излучения вентилятора применительно к проблеме снижения шума авиационных двигателей. Приведены результаты экспериментального исследования гашения квазимонохроматического излучения во входном канале модели вентилятора авиационного двигателя. Получено, что в диапазоне частот 400–1600 Гц уровни излучения квазимонохроматических акустических сигналов в переднюю полусферу подавляются на 14–21 дБ. Ключевые слова: активное гашение шума, активное подавление звука, компенсация акустических колебаний, шум вентилятора ТРДД, звук в цилиндрических трубах, акустическая мода.

22.06-01.207 Экспериментальные исследования беспроводных пассивных датчиков вибродеформации на основе резонаторов на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с оптимизированным опрашивающим сигналом. *Швецов А.С., Меркулов А.А., Жгун С.А., Минеев Б.И., Маслов В.П. Авиационные двигатели.* 2021, № 4, с. 5-16. Рус.

Экспериментально подтверждена возможность измерения быстропеременных деформаций вибрирующего образца с использованием беспроводных датчиков с чувствительными элементами на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Проведено сравнение результатов измерения вибродеформации беспроводным датчиком на ПАВ и проводным датчиком на основе тензорезистора. Испытан активный датчик, в котором резонатор на ПАВ задает частоту автогенератора, и пассивный датчик, не содержащий активных электронных компонентов и элементов питания (в составе датчика, размещенного непосредственно на объекте). Эксперименты произведены как с неподвижными датчиками, так и с беспроводными датчиками, размещенными на вращающихся объектах. Определены параметры опрашивающего сигнала, наиболее подходящие для функционирования пассивного датчика вибродеформации, и проведены испытания датчиков с их опросом оптимизированным сигналом. Испытанные датчики на ПАВ перспективны в применении при испытаниях авиадвигателей. Ключевые слова: беспроводной датчик, датчик на ПАВ, пассивный датчик, датчик вибродеформации.

22.06-01.208 Проблема шума перспективных ТРДД для дальнемагистральных самолетов. *Евстигнев А.А., Ланшин А.И., Почкин Я.С., Солонин В.И., Халецкий Ю.Д. Авиационные двигатели.* 2022, № 2, с. 27-40. Рус.

Одной из задач отечественного авиадвигателестроения является разработка и создание конкурентоспособных двигателей в диапазоне тяги 250–450 кН для широкофюзеляжных дальнемагистральных самолетов. Представлена сравнительная оценка уровня шума дальнемагистральных самолетов, силовая установка которых состоит из двух ТРДД большой тяги, в одном случае с прямым, в другом — с редукторным приводом вентилятора. Намечены основные направления исследований по созданию новых технологий снижения шума различных источников применительно к перспективным ТРДД. Ключевые слова: шум самолета, источники шума двигателя, реактивная струя, вентилятор, камера сгорания, турбина, система шумоглушения, звукопоглощающая конструкция, прямой привод вентилятора, редукторный привод вентилятора.

22.06-01.209 Об эффективности использования приближения Навье—Стокса в термогазодинамическом расчете жидкостных ракетных двигателей малой тяги при низких числах Рейнольдса. *Максимов А.Д., Шустов С.А. Вестник Самарского ун-та. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение.* 2022. 21, № 1, с. 67-80. Рус.

Представлен численный метод термогазодинамического расчета жидкостных ракетных двигателей малой тяги, которые используются в качестве исполнительных органов системы управления пространственным положением наноспутников и малых космических аппаратов. Метод основан на использовании программного комплекса TERRA для проведения термодинамического расчета и программного комплекса ANSYS CFX для проведения газодинамического расчета с использованием уравнений Навье—Стокса. Приведены результаты термогазодина-

мического расчёта, а также картина течения рабочего тела в камере. Приводятся результаты проверки адекватности излагаемого метода, анализируются его возможности и ограничения. Проверка адекватности основана на сравнении с результатами экспериментальных данных по числу Рейнольдса и величине потерь удельного импульса тяги.

22.06-01.210 Нелинейное возбуждение гиперзвуковых колебаний в ферритовой пластине в условиях комбинированного воздействия на двух частотах. Часть 1. Резонанс на разностной частоте. Власов В.С., Плещев Д.А., Шапуров В.Г., Щеглов В.И. Журнал радиоэлектроники. 2021, № 9, с. 3. Рус.

Рассмотрена задача о нелинейном возбуждении гиперзвуковых колебаний в ферритовой пластине в условиях комбинированного воздействия на двух частотах. В качестве предварительной задачи выполнено рассмотрение магнитных колебаний при двухчастотном возбуждении. Показана возможность описания вынужденных линейных колебаний на основе одного неоднородного линейного уравнения второго порядка с произвольным возбуждением. Получено аналитическое решение задачи о возбуждении осциллятора двумя сигналами, частоты которых отстоят вверх и вниз от центральной на одну и ту же частоту. Показана эквивалентность представления магнитных колебаний в линейном режиме и модельных колебаний на основе осциллятора. Установлено, что в общем случае колебания имеют вид биений, частота огибающей которых соответствует разности между частотами возбуждения. Рассмотрена полная постановка задачи о возбуждении нелинейных магнитоупругих колебаний в нормально намагниченной ферритовой пластине при двухчастотном воздействии. Установлено, что в условиях сильной нелинейности при соответствии собственному упругому резонансу пластины разностной частоте, возбуждаются интенсивные упругие колебания. Обнаружено нелинейное возбуждение интенсивных нерезонансных колебаний, имеющих место вплоть до случая большого упругого затухания. Показано, что нерезонансные колебания обусловлены именно двухчастотным характером возбуждения. Отмечено, что амплитуда нерезонансных колебаний при увеличении толщины пластины также увеличивается. При малом уровне возбуждения закон увеличения является линейным, при среднем - квадратичным, а при большом - снова приближается к линейному с насыщением и нестационарными скачками. Рассмотрен характер возбуждения в условиях резонанса на разностной частоте. Отмечено, что такой резонанс имеет ярко выраженный нелинейный характер, так как возникает только при достаточно высоком уровне возбуждения. Показано, что дальнейший рост амплитуды резонанса по мере увеличения уровня возбуждения происходит по закону, близкому к квадратичному, после чего при достижении возбуждением определенного уровня насыщается и далее остается постоянным. Отмечено определенное рассогласование проявления нелинейности по магнитной и упругой системам, для описания которого предложена эмпирическая квадратичная зависимость. Приведены некоторые замечания, касающиеся дальнейшего развития работы.

22.06-01.211 Нелинейное возбуждение гиперзвуковых колебаний в ферритовой пластине в условиях комбинированного воздействия на двух частотах. Часть 2. Вариация постоянного поля. Власов В.С., Плещев Д.А., Шапуров В.Г., Щеглов В.И. Журнал радиоэлектроники. 2021, № 10, с. 10. Рус.

Рассмотрена задача о нелинейном возбуждении гиперзвуковых колебаний в ферритовой пластине в условиях комбинированного воздействия на двух частотах. Толщина пластины выбрана таким образом, чтобы частота ее упругого резонанса соответствовала разности частот двух компонент переменного поля. Главное внимание уделено свойствам возбуждаемых упругих колебаний при изменении величины постоянного поля. Записана нелинейная система уравнений движения намагниченности и упругого смещения, для решения которой применен численный метод Рунге—Кутты. Результатом решения являются развертки колебаний по времени, зависимости амплитуды магнитных и упругих колебаний от поля, а также спектры колебаний в стационарных условиях после окончания процессов релаксации. Рассмотрено влияние величины постоянного

магнитного поля на характер колебаний. Выполнено сравнение амплитудно-полевых характеристик магнитных и упругих колебаний в линейном и нелинейном режимах при толщинах пластины, соответствующих резонансу на центральной и разностной частотах. Показано, что при толщине, соответствующей резонансу на разностной частоте, характеристика имеет сильно изрезанную огибающую. Отмечено сильное разнообразие зависимостей характера упругих колебаний от поля. В условиях стабилизации, то есть после окончания релаксационных процессов установления, выявлены пять наиболее характерных режимов колебаний: режим №1 — малоамплитудный хаос; режим №2 — регулярные колебания; режим №3 — несимметричное удвоение периода; режим №4 — симметричное удвоение периода; режим №5 — нерегулярные биения. Для каждого из режимов получены развертки колебаний по времени и приведены соответствующие частотные спектры. Рассмотрено расположение режимов по величине постоянного поля при различных уровнях возбуждения. Отмечено, что область высокоамплитудных режимов (№2—№5) ограничена с обеих сторон областями малоамплитудного режима №1. Установлено, что внутри области существования высокоамплитудных режимов наиболее распространенным является обобщенный режим с удвоенным периодом, как сумма режимов №3 и №4, занимающий около 79%. Следующим по распространенности является режим №5 — нерегулярных биений, на долю которого приходится 13% области. Самым редким является режим №2 — регулярных колебаний, составляющий всего 8% от общего интервала. Отмечена крайне высокая критичность изрезанности зависимости амплитуды упругих колебаний от постоянного поля. Установлено, что структура амплитудно-полевой характеристики весьма критична к уровню возбуждения и толщине пластины, причем степень критичности достигает долей процента. Из сравнения расположения по полю магнитных и упругих характеристик установлено, что упругие характеристики в целом по полю сдвинуты вниз относительно магнитных. При этом низкополевой спад упругих характеристик приходится на такой же спад магнитных характеристик, а высокополевой спад упругих характеристик располагается несколько ниже значения поля, соответствующего ферромагнитному резонансу на центральной частоте. Установлено, что причиной смещения в этом случае является упругий резонанс пластины на разностной частоте. Построена карта режимов на плоскости «переменное поле—постоянное поле» в широком интервале изменения обеих переменных. Установлено, что по постоянному полю высокоамплитудные режимы на карте занимают «криволинейную трапецию», ось которой лежит вдоль координаты «переменное поле», а поперечная ширина вдоль координаты «постоянное поле» по мере увеличения переменного поля увеличивается. Установлено, что по обе стороны по постоянному полю от этой «трапеции» возбуждается низкоамплитудный режим №1 — «малоамплитудный хаос». Сердцевину трапеции составляет полоса, вытянутая вдоль координаты «переменное поле», занимаемая режимом №5 — «нерегулярными биениями». По обе стороны от этой полосы вплоть до границ «трапеции» возбуждаются режимы №3 и №4 — «удвоения периода». Рассмотрены причины и необходимые условия хаотического характера упругих колебаний. Установлено, что необходимым условием хаоса является возбуждение именно на двух частотах. Установлено, что сильно изрезанный скачкообразный характер зависимости амплитуды упругих колебаний от постоянного поля, имеет в качестве главной первопричины хаотический характер именно магнитных колебаний. Рассмотрен характер скачков зависимости амплитуды упругих колебаний от постоянного поля. Показано, что при двухчастотном возбуждении уменьшение шага приводит к сильному увеличению изрезанности характеристик. Отмечено, что такое поведение полевых зависимостей амплитуды тех и других колебаний говорит об их фрактальном характере. Приведены некоторые замечания относительно природы скачков. Отмечено, что скачки обусловлены нестационарным характером именно магнитных колебаний, проявляются только при двухчастотном возбуждении на достаточно высоком уровне и именуют фрактальный характер. В качестве аналогии отмечено, что линия (огibaющая) скачков полевой зависимости упругих колебаний на плоскости «амплитуда—поле» подобна хаотической траектории развертки по времени на плоскости «амплитуда—время» для раз-

личных осцилляторов, проявляющих хаотические колебания. Отмечено, что подобное поведение траекторий на плоскости «координата—потенциал» имеет место тогда, когда потенциал имеет динамический характер. Высказано предположение, что в рассматриваемой здесь задаче о двухчастотном возбуждении магнитоотрицательного преобразователя можно выделить функцию, играющую роль динамического потенциала.

22.06-01.212 Нелинейное возбуждение гиперзвуковых колебаний в ферритовой пластине в условиях комбинированного воздействия на двух частотах. Часть 3. Вариация толщины пластины. *Власов В.С., Плещев Д.А., Шавров В.Г., Щеглов В.И. Журнал радиоэлектроники.* 2021, № 10, с. 11. Рус.

Рассмотрена задача о нелинейном возбуждении гиперзвуковых колебаний в нормально намагниченной ферритовой пластине, в плоскости которой приложено переменное поле на двух частотах. В качестве основного параметра, подвергаемого вариации, предложена нормированная толщина пластины, определяемая отношением реальной толщины к толщине, соответствующей упругому резонансу на разностной частоте возбуждения. Отмечена необходимость выбора характерного значения постоянного поля, определяющего достаточно эффективным возбуждением упругих колебаний. Записана система нелинейных уравнений движения намагниченности и упругого смещения, для решения которой применен численный метод Рунге—Кутты. Результатом решения явились развертки колебаний по времени, зависимости амплитуды магнитных и упругих колебаний от поля и толщины пластины. Выявлен мультирежимный характер упругих колебаний, имеющий место при вариации толщины пластины. По характеру развития упругих колебаний во времени относительно увеличения толщины пластины выделены четыре принципиально отличающихся режима: режим №1 — регулярные биения, режим №2 — устойчивый резонанс, режим №3 — смещение центра установившихся колебаний, режим №4 — гигантские осцилляции. Определены интервалы значений толщины, необходимые для реализации перечисленных режимов, рассмотрены свойства колебаний упругого смещения в каждом режиме по отдельности. Установлено, что режим №1 имеет место тогда, когда толщина пластины значительно меньше резонансной на разностной частоте. При этом упругие колебания, в основном, повторяют колебания намагниченности, которые происходят в виде биений между двумя частотами возбуждения. Режим №2 имеет место при толщине пластины близкой к резонансной на разностной частоте возбуждающих колебаний. При толщине, соответствующей резонансу на разностной частоте обнаружен значительный подъем резонансного характера. Выявлено наличие постоянной составляющей в колебаниях упругого смещения. Режим №3 имеет место при толщине пластины, превышающей резонансную в несколько (от двух до семи) раз. Колебания намагниченности в этом режиме не отличаются от таковых в режимах №1 и №2. Упругое смещение имеет две составляющие: колебательную на разностной частоте и постоянную, величина которой по мере увеличения толщины плавно возрастает. Смещение центра колебательной составляющей по мере увеличения толщины имеет квадратичный характер. Режим №4 имеет место при толщине пластины, превышающей резонансную на порядок и более. Колебания намагниченности сохраняют характер биений, свойственных режимам №1, №2 и №3. Колебания упругого смещения характеризуются весьма высокой амплитудой, превышающей таковую в режиме №3 на порядок и более, а также весьма значительным периодом, превышающим период разностной частоты на два-три порядка и более. Амплитуда колебаний и их период по мере увеличения толщины увеличиваются линейным образом. Приведены некоторые качественные соображения относительно природы наблюдаемых явлений. Отмечена специфика именно двухчастотного возбуждения по сравнению с одночастотным. В качестве возможной задачи приведена схема выделения части решения, зависимость амплитуды колебаний которой от толщины имеет квадратичный характер, с необходимым учетом двухчастотного возбуждения. Предложена механическая аналогия колебаний жесткого стержня, сжимаемого с обоих концов встречными силами, позволяющая интерпретировать смещение центра колебаний и режим гигантских осцилляций.

22.06-01.213 Математическое моделирование сверхзвукового обтекания клина с присоединенным скачком уплотнения с учетом высокотемпературных эффектов. *Волгов К.Н., Емельянов В.Н., Карпенко А.Г., Толстогов С.С. Инженерно-физический журнал.* 2022, 95, № 3, с. 756-766. Рус.

Выполнено математическое моделирование развития сверхзвукового течения газа при взаимодействии плоской ударной волны с клином на основе решения уравнений Эйлера, описывающих нестационарное течение не вязкого сжимаемого газа в двумерной области, с учетом высокотемпературных эффектов ионизации и диссоциации газа, возникающих в потоке газа в результате протекания в нем равновесных химических реакций. Проведено сравнение решений задачи в рамках моделей совершенного и реального газов. Исследовано влияние высокотемпературных эффектов в газе, обтекающем клин, на характеристики потока газа и угол наклона скачка уплотнения на клине.

22.06-01.214 Исследование нестационарных газодинамических характеристик в полости резонатора. *Сидняев Н.И. Инженерно-физический журнал.* 2022, 95, № 6, с. 1537-1548. Рус.

Представлено математическое моделирование нестационарного течения идеального газа в полости резонатора. Проведено исследование влияния глубины резонатора на амплитудные и частотные характеристики параметров течения. Проведено сравнение частотных характеристик, определенных при численном моделировании двумерного течения газа, с результатами, полученными в акустическом линейном приближении. По результатам, представленным в работе, выявлено, что характер течения — частота и амплитуда пульсаций — определяется прохождением возмущений по внутреннему и внешнему контурам разделяющей линии тока. При увеличении глубины резонатора отмечается немономонотонное нарастание амплитуды колебаний течения. Наблюдаются также провалы по величине амплитуды давления при одинаковой глубине резонатора или когда частота собственных колебаний в резонаторе меньше частоты колебаний струи. Колебания в резонаторе происходят на первой моде, когда частота собственных колебаний для первой моды в резонаторе соответствует частоте колебаний разделяющей линии тока. Показано, что в зависимости от конфигурации резонатора при разных режимах обтекания необходимые параметры и поправочные коэффициенты будут иметь разные значения. В работе подробно исследованы конфигурации и режимы работы резонатора и найдены дискретные частоты собственных колебаний, представлена математическая модель процесса самовозбуждения резонатора, основанная на теории нестационарного течения. Ключевые слова: резонатор, собственные колебания, давление, частоты, обтекание, геометрия, шум, пульсации, методика.

22.06-01.215 Об аэродинамической задаче Ньютона. *Горелов С.Л., Иванилова П.В. Вестник Московского гос. обл. ун-та. Серия: Физ.—Мат.* 2022, № 3, с. 15-27. Рус.

Цель. Найти образующую тела вращения минимального лобового сопротивления движущегося с большой скоростью в “редкой” среде Ньютона, либо в сильно разреженном газе. Процедура и методы. Исследуется вариационная постановка и решается аэродинамическая задача Ньютона о поиске образующей тела вращения минимального лобового сопротивления движущегося в “редкой” среде. Выводится закон сопротивления Ньютона, формула сопротивления тела, ставится и решается соответствующая вариационная задача. Аналогичная задача ставится для движения тела с большой скоростью в сильно разреженном газе. Результаты. Получены образующие для осесимметричного тела минимального сопротивления движущегося в невязком газе (модель Ньютона) или в сильно разреженном газе (свободномолекулярная модель). Теоретическое и прикладное значение. Результаты, полученные в данной работе имеют большое значение для создания космических летательных аппаратов. Аэродинамическое сопротивление тел вращения, вариационная задача, локальные методы 10.18384/2310-7251-2022-3-15-27.

См. также 22.06-01.18, 22.06-01.19, 22.06-01.26, 22.06-01.29, 22.06-01.33, 22.06-01.34, 22.06-01.35, 22.06-01.36, 22.06-01.37, 22.06-01.38, 22.06-01.39, 22.06-01.40, 22.06-01.41, 22.06-01.46, 22.06-01.48, 22.06-01.51, 22.06-01.58, 22.06-01.90, 22.06-01.93, 22.06-01.94, 22.06-01.96, 22.06-01.98, 22.06-01.224

Колебания тел и структур в потоке, аэроупругость

См. 22.06-01.18, 22.06-01.48, 22.06-01.51, 22.06-01.176, 22.06-01.185, 22.06-01.210, 22.06-01.211, 22.06-01.212

Акустика структурно неоднородных сред; Геологическая акустика

Лабораторные исследования линейных и нелинейных свойств скальных пород, грунтов, глин, сыпучих сред и моделей геологических структур

22.06-01.216 Влияние трещиноватости полевых шпатов на спектральную мощность обратнорассеянных широкополосных импульсов продольных ультразвуковых волн. *Подъмова Н.В., Карabutов А.А. Акустический журнал.* 2022. 68, № 6, с. 679-688. Рус.

Изучено влияние микротрещин в лабораторных образцах полевых шпатов на спектральную мощность широкополосных импульсов продольных ультразвуковых волн, рассеянных назад в исследуемом образце (так называемую мощность структурного шума). Для этой цели использован оптико-акустический преобразователь, в котором совмещено лазерное возбуждение зондирующих широкополосных ультразвуковых импульсов в пленке из черного полиэтилена и пьезоэлектрическая регистрация как зондирующих, так и рассеянных в образце импульсов. Исследованы образцы ортоклаза и плагиоклаза с участками скопления микротрещин, неравномерно распределенных по объему образцов. Такие участки выявлялись по данным оптической микроскопии поверхности образцов и по результатам измерения коэффициента затухания продольных ультразвуковых волн в спектральном диапазоне 1–15 МГц. В участках с повышенным затуханием ультразвука также наблюдалось возрастание мощности структурного шума. Обнаруженная корреляция между концентрацией микротрещин и мощностью структурного шума может служить основой для разработки методики неразрушающей оптико-акустической диагностики возникновения и эволюции локальных микротрещин в образцах горных пород и минералов под действием различных нагрузок.

Сейсмическое зондирование геологических структур

22.06-01.217 Численная реализация метода обращения полного волнового поля с использованием асимптотического решения уравнения Гельмгольца. *Гадильшин К.Г., Неклюдов Д.А., Протасов М.И. Вычислительные методы и программирование.* 2022. 23, № 1, с. 29-45. Рус.

Рассматривается численная реализация метода обращения полного волнового поля на основе асимптотического решения уравнения Гельмгольца. Классическая постановка задачи заключается в поиске минимума штрафной функции, характеризующей среднеквадратичное отклонение модельных данных

от зарегистрированных при проведении полевых работ. Для минимизации целевого функционала обычно применяются методы локальной оптимизации, такие как метод сопряженных градиентов. Именно вычисление градиента штрафной функции и является самой ресурсоемкой частью задачи. Асимптотический подход к решению обратной динамической задачи сейсмичности заключается в замене дорогостоящей конечно-разностной процедуры расчета функции Грина краевой задачи частотно-зависимым лучевым трассированием. Функции Грина рассчитываются на основании данных о времени пробега вдоль дуги, об амплитуде и о геометрическом расхождении. Серия численных экспериментов для широкоизвестной модели Matmoussi демонстрирует эффективность применения такого подхода к реконструкции макроскоростного строения сложноустроенных сред для низких временных частот. При сопоставимом качестве решения обратной задачи применительно к стандартному конечно-разностному подходу скорость расчетов асимптотического метода на порядок выше.

22.06-01.218 Прогнозирование гипергенных пород соляного массива по результатам шахтных сейсмоакустических исследований. *Жикин А.А., Чайковский И.И., Санфиоров И.А., Ярославцев А.Г. Геофизика.* 2022, № 5, с. 90-98. Рус.

Представлены материалы шахтных сейсмоакустических исследований на участках сложного геологического строения в пределах Верхнекамского месторождения, характеризующихся наличием гипергенных изменений в интервале водозащитной толщи. На основе полноволнового моделирования выявлены наиболее информативные параметры волновых картин, указывающих на размещение гипергенных пород. Показаны результаты согласованной динамической и структурно-геологической интерпретации шахтных наблюдений на участках проявления вторично измененных солей.

Исследование геологических сред с использованием сейсмического шума

См. 22.06-01.217, 22.06-01.218

Обратные задачи сейсмоакустики

См. 22.06-01.216

Акустические методы поиска полезных ископаемых

См. 22.06-01.24

Акустическая экология; Шумы и вибрации

Шумы и вибрации в воздушной среде

22.06-01.219 Моделирование акустико-вихревого поля нестационарного давления в центробежной машине с применением сплиттеров. *Кондратов А.В., Клименко Д.В., Тимухин С.Ф. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26*

сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 171-175. Рус.

В последнее время все большее значение придается изучению проблем повышения надежности и ресурса центробежных насосов, которые являются основным источником шума в гидросистемах.

22.06-01.220 Использование гармонических методов для расчета тонального шума вентиляторов и компрес-

соров. *Милешин В.И., Россихин А.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 283-285. Рус.

При разработке авиационных двигателей для гражданской авиации существенной проблемой является обеспечение низких уровней шума на местности и в салоне самолета. Наиболее значительной компонентой шума является тональный шум вентилятора. На некоторых режимах работы двигателя существенный вклад в шум может вносить также взаимодействие между венцами в подпорных ступенях вентилятора и в турбине низкого давления. Поэтому при проектировании перспективных авиационных двигателей важно иметь эффективные и достаточно точные методы оценки шума лопаточных машин. В ФАУ ЦИАМ им. П.И. Баранова разработан и реализован численный метод 3D расчета тонального шума лопаточных машин в ближнем и дальнем поле. Метод основан на разложении нестационарного трёхмерного вязкого потока в системе отсчета лопаточного венца на две части: на стационарный неоднородный трёхмерный вязкий поток и нестационарные трёхмерные возмущения. Невязкие уравнения для возмущений решаются с использованием численных схем высокого порядка, хорошо зарекомендовавших себя при проведении исследований в области вычислительной акустики.

См. также 22.06-01.37, 22.06-01.44, 22.06-01.66, 22.06-01.96, 22.06-01.106, 22.06-01.107, 22.06-01.108, 22.06-01.109, 22.06-01.110, 22.06-01.111, 22.06-01.112, 22.06-01.113, 22.06-01.143, 22.06-01.148, 22.06-01.156, 22.06-01.167, 22.06-01.169, 22.06-01.182, 22.06-01.189, 22.06-01.191, 22.06-01.198, 22.06-01.199, 22.06-01.200, 22.06-01.203, 22.06-01.208

Структурная акустика и вибрации

22.06-01.221 Идентификация режима работы пропеллера беспилотного летательного аппарата по аку-

стическому сигналу. *Бондарчук А.А., Казаков Е.А., Сумбатьян М.А. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки.* 2020, № 2, с. 21-28. Рус.

См. также 22.06-01.22, 22.06-01.49, 22.06-01.50, 22.06-01.208

Шумоизоляция

22.06-01.222 Об одном техническом решении акустической защиты помещений, используемых для обмена конфиденциальной речевой информацией. *Сташкова В.В., Ивкин А.В., Юмашева Е.В., Тимонов Д.А. Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму.* 2020, № 9-10(147-148), с. 126-131. Рус.

Рассматриваются возможности перехвата противником конфиденциальной речевой информации посредством специальных технических средств. Авторами предложена оригинальная конструкция внутреннего акустического поглощения помещений, основанная на ослаблении звукового давления и гашении звуковой энергии на поверхности экрана за счет диффузионного поглощения ее части. Техническое решение позволяет значительно снизить уровень фоновых акустических шумов в защищаемом помещении, и практически до уровня белого шума снижается уровень звука или вызываемой им вибрации, проникающей за пределы контролируемой зоны. Предлагаемая конструкция экрана обеспечивает безопасность информации при несанкционированном перехвате в условиях динамично изменяющегося ландшафта угроз информационной безопасности.

См. также 22.06-01.107, 22.06-01.108, 22.06-01.109, 22.06-01.110, 22.06-01.111, 22.06-01.112, 22.06-01.113

Активные методы подавления шума

См. 22.06-01.206

Обработка акустических сигналов; Компьютерное моделирование

Компьютерная обработка результатов эксперимента

22.06-01.223 Программный комплекс FlowVision — мультисциплинарные расчеты для задач машиностроения и не только. *Аженов А.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 18. Рус.

Описываются различные математические модели, реализованные в программном комплексе FlowVision — модели движения жидкости и газа, распространения акустических волн, расчета электрических и магнитных полей и распространения теплового излучения. Также демонстрируются решения конкретных задач из различных областей деятельности человека — от полета космического корабля, движения судна до медицинских задач и моделирования движения человека-спортсмена.

22.06-01.224 Основные направления развития отечественного ПО в рамках потребностей гражданской авиации и необходимости импортозамещения. *Долотовский А.В., Войтшичина М.С. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 20. Рус.

В ходе разработки гражданских самолетов широко применяются расчетные методики, в основе которых лежат программные расчетные комплексы как зарубежной, так и отечествен-

ной разработки. Намечены основные направления расширения потребностей отечественной гражданской авиации в программных продуктах, обеспечивающих разработку, производство и эксплуатацию авиационной техники в условиях санкционных ограничений. Отмечена важность расширения направлений развития разработки отечественного ПО решения задач аэродинамического проектирования — аэродинамика летательного аппарата (ЛА) с крылом большого удлинения на трансзвуковых режимах, аэродинамика взлетно-посадочной механизации крыла, параметризация геометрии реального ЛА, развитие оптимизационных методов. Большую важность имеют ведущиеся в настоящее время разработки ПО, позволяющего обеспечить с достаточной точностью моделирование формирования ледяных отложений на внешней поверхности ЛА в полностью трехмерной постановке в условиях, соответствующих Приложениям С, О, Р Норм лётной годности самолетов транспортной категории. Отмечены проблемы и необходимость дальнейшего развития ПО моделирования явлений аэроакустики в свете ужесточения международных норм по шуму на местности.

22.06-01.225 Взаимодействие турбулентной струи с окружающей средой, процессы смешения и шумообразования. *Крашенинников С.Ю., Вендерский Л.А., Миронов А.К., Польшняков Н.А., Семенёв П.А. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 31-32. Рус.

Проведены исследования общих свойств турбулентных течений, относящихся к фундаментальным характеристикам процессов турбулентного смешения и шумообразования в турбу-

лентных струях. Обоснованы новые представления о процессах турбулентного смешения, и динамических процессов, сопровождающих взаимодействие турбулентной струи с окружающей средой. Проведено комплексное исследование нестационарных параметров течения в турбулентных струях и индуцированных ими течений во внешней среде. Комплексность исследования выражалась в соединении численного моделирования рассматриваемых нестационарных течений и процессов, сопровождающих распространение струй, и экспериментов по определению соответствующих характеристик струйных течений. При вычислительном моделировании использовалась LES технология, Фурье-анализ, при измерениях — термоанемометры и пневмометрия с широким частотным диапазоном. Внешнее течение, создаваемое воздействием струи на окружающую среду, индуцируется разрежением, возникающим в струе. Этот основной вывод, который сделан в работе и подтвержден, как результатами вычислительного моделирования на основании решения уравнений Навье—Стокса в нестационарной постановке, так и на основании измерений нестационарных и осредненных характеристик течения. Специально проведенные измерения «мгновенных» распределений статического давления подтверждают эти результаты. Полученные данные позволяют также обосновать новые представления о процессе шумообразования в турбулентных струях. В результате проведенных исследований получены результаты, которые меняют имеющиеся представления о свойствах процессов турбулентного смешения и шумообразования в турбулентных струях. Полученные данные демонстрируют несправедливость аналогий процессов турбулентного и нетурбулентного смешения и подтверждают вывод о шумообразовании как следствии динамического воздействия струи на окружающую среду.

22.06-01.226 Использование методов и библиотек функционального программирования для решения численных задач на графических ускорителях с технологиями CUDA. Краснов М.М., Феодоритова О.Б. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 192-196. Рус.

Современные графические ускорители (GPU) позволяют существенно ускорить выполнение численных задач. Однако перенос программ на графические ускорители является непростой задачей. Иногда перенос программ на такие ускорители осуществляется путём практически полного их переписывания (например, при использовании технологии OpenCL). При этом возникает непростая задача поддержки двух независимых исходных кодов. Однако, графические ускорители CUDA, благодаря разработанной компанией NVIDIA технологии, позволяют иметь единый исходный код как для обычных процессоров (CPU), так и для CUDA. Машинный код, генерируемый при компиляции этого единого текста, зависит от того, каким компилятором он компилируется (обычным, таким, как gcc, gcc и msvc, или компилятором для CUDA, nvcc). Однако, в этом едином исходном коде нужно каким-то образом указать компилятору, какие части этого кода нужно распараллеливать на общей памяти. Для CPU это обычно делается с помощью OpenMP и специальных прагм компилятору. Для CUDA распараллеливание делается совершенно по-другому. Применение разработанной авторами библиотеки функционального программирования позволяет скрыть использование того или иного механизма распараллеливания на общей памяти внутри библиотеки и сделать пользовательский исходный код полностью независимым от используемого вычислительного устройства (CPU или CUDA). В статье показывается, как это можно сделать. В частности, при реализации этого подхода активно использовались метапрограммирование шаблонов языка C++, в том числе шаблоны выражений, основанные на идиоме языка C++ CRTP. Предлагаемый авторами подход применен для переноса на графические ускорители программного кода MCFL для численного моделирования течения вязкого теплопроводного многокомпонентного газа, взаимодействующего с твердым телом.

22.06-01.227 Автоматизированный генератор блочно-структурированных расчетных сеток для турбомашин Turbo R&D.Mesher. Ворошнин Д.В., Заги-

тов Р.А., Сальников С.Д., Шуваев Н.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 271-272. Рус.

Работа посвящена разработке и реализации методики автоматического построения расчетных сеток для турбомашин в программном комплексе ПК Turbo R&D.Mesher. Рассматривается многоблочная структурированная расчетная сетка. Блок расчетной сетки представляет собой упорядоченный трехмерный массив узлов. Блоки расчетной сетки соединяются между собой «кузел в кузел», то есть координаты соответствующих узлов смежных блоков расчетной сетки совпадают. Задача построения расчетной сетки заключается в определении многоблочной топологии и координат узлов расчетной сетки таким образом, чтобы расчетная сетка удовлетворяла заданным критериям качества: невырожденность, ортогональность и др.

22.06-01.228 Разработка 3D газодинамического решателя в рамках системы проектирования и расчета турбомашин Turbo R&D. Ворошнин Д.В., Горобец А.В., Дубень А.П., Козубская Т.К., Маракуева О.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 273. Рус.

Приводится описание основного функционала и характеристик 3D газодинамического решателя уравнений Навье—Стокса NOISEtte, разрабатываемого в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Приводится оценка его возможностей при решении задач турбомашиностроения на базе валидации, сравнения результатов и скорости работы с коммерческими решателями для ряда различных задач: плоских решеток, 3D многоступенчатых конфигураций компрессоров и турбин. Также обсуждаются преимущества решателя перед существующими коммерческими кодами и основные этапы его дальнейшего развития.

22.06-01.229 Разработка системы проектирования и расчета турбомашин Turbo R&D. Ворошнин Д.В., Горобец А.В., Дубень А.П., Загитов Р.А., Козубская Т.К., Маракуева О.В., Овчинников А.И., Шуваев Н.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 274. Рус.

Приводится описание основного функционала блочно-структурированного сеточного генератора для лопаточных машин, эффективность которого уже подтверждена на обширной базе примеров турбомашин различного типа. Также обсуждаются преимущества разрабатываемого сеточного генератора перед существующими коммерческими кодами и основные этапы его дальнейшего развития.

22.06-01.230 Автоматическое определение топологии двумерных блочно-структурированных расчетных сеток в ПК Turbo R&D.Mesher. Ворошнин Д.В., Загитов Р.А., Сальников С.Д., Шуваев Н.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 275-276. Рус.

Работа посвящена методике автоматического определения топологии блочно-структурированных расчетных сеток. Рассматривается блочно-структурированная расчетная сетка, то есть расчетная область описывается не одним упорядоченным набором узлов, а несколькими четырехгранными блоками.

22.06-01.231 Расчетное исследование воздействия НРУ на характеристики вентилятора с неравномерным входным потоком. Дружинин Я.М., Милешин В.И. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 277-278. Рус.

Использование надроторных устройств является хорошо известным способом повышения уровня запаса газодинамической устойчивости компрессоров и имеет широкое применение, как на КНД, так и на КВД турбовентиляторных двигателей. ЦИАМ им. П.И. Баранова обладает большим опытом разработки и исследования особенностей работы НРУ щелевого и лабиринтного типа на основе экспериментальных и расчётных методов. Численное моделирование работы НРУ в рамках решения системы уравнений Рейнольдса представляет собой сложную задачу ввиду существенного вклада нестационарных эффектов при взаимодействии НРУ и лопаток ротора. Как правило, вентиляторы современных двигателей с прямым приводом и высокой степенью двухконтурности разрабатываются таким образом, чтобы уровень запаса газодинамической устойчивости, а также низкий уровень переменных напряжений в лопатках был обеспечен во всем диапазоне режимов работы без использования надроторных устройств. Однако в некоторых случаях могут быть реализованы условия, существенно ухудшающие эти характеристики. В настоящей работе рассмотрено воздействие НРУ лабиринтного типа на нестационарный характер обтекания лопаточного венца рабочего колеса модели двухконтурного 400 м/с в условиях неравномерного входного вентилятора с U потока. Исследуется эффект воздействия на локальные и интегральные аэродинамические характеристики. Рассматриваются два варианта вентилятора: с гладкой проточной частью и с надроторным устройством лабиринтного типа. По результатам расчета собственных частот колебаний лопатки для моделирования нестационарного течения был выбран режим, на котором присутствует возможный резонанс. Выполняется нестационарный URANS расчет с пластинчатым интерцептором во входном канале для создания входной неравномерности. во входном канале для создания входной неравномерности. Производится накопление мгновенных полей давления на поверхности лопатки для выполнения Фурье-анализа и расчёта напряженно-деформированного состояния. Показано, что НРУ оказывает существенное воздействие на нестационарное поле течения в межлопаточных каналах вентилятора в условиях неравномерного входного потока.

22.06-01.232 Метод распознавания структурного элемента "номер по порядку" в протокольных блоках с мультиплексированием речевых данных в спутниковых системах связи. *Никитин Г.В., Семенов К.В., Шшикалов А.В., Леонтьев А.В. Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму.* 2021, № 9-10(159-160), с. 9-18. Рус.

Рассмотрены особенности структурного элемента «номер по порядку» протокольных блоков, формируемых протоколом мультиплексирования речевых данных на прикладном уровне сетевого оборудования спутниковых систем связи (ССС). Предложен информативный признак распознавания данного структурного элемента в протокольных блоках данных (ПБД). Информативный признак основан на оценке разработанного показателя постоянства приращения значений числовой последовательности, образованной двоичными символами ПБД с помощью окна анализа. Представлены результаты имитационного моделирования при различных задержках в буфере сетевого оборудования и значений вероятности битовой ошибки в принимаемом цифровом потоке. Предложен метод распознавания структурного элемента «номер по порядку» и проведена оценка ошибок распознавания первого и второго рода.

22.06-01.233 Исследование возможности прогнозирования гидрофизических параметров морской среды с использованием метода сингулярного разложения матриц. *Прокаев А.Н. Гидроакустика.* 2022, № 51, с. <https://www.oceanpribor.ru/docs/SbGA51.pdf>. Рус.

Рассмотрены возможности прогнозирования гидрофизических параметров морской среды с использованием математического аппарата сингулярного разложения матриц, известного также как SVD-разложение. Рассмотрены два различных подхода, именуемые как «непосредственная интерполяция» и «прогноз от среднего». Произведено сопоставление точности прогнозирования гидрофизических параметров Черного моря с использованием гидродинамических моделей и SVD-разложения. Ключевые слова: сингулярное разложение мат-

риц, SVD-разложение, прогноз гидрофизических параметров морской среды, оперативная океанология.

22.06-01.234 Подход к математическому моделированию пленочных анизотропных конструкций электроакустических преобразователей. *Деметьев И.И., Шабанов В.А., Шабанова Н.С. Гидроакустика.* 2022, № 51, с. <https://www.oceanpribor.ru/docs/SbGA51.pdf>. Рус.

Представлен новый подход к математическому моделированию анизотропных конструкций электроакустических преобразователей, предназначенных для использования в составе непрерывных нелинейных гидроакустических антенн с пленочными апертурами. Ключевые слова: непрерывная нелинейная гидроакустическая антенна с пленочной апертурой, электроакустический преобразователь, анизотропная конструкция, математическое моделирование.

См. также **22.06-01.81, 22.06-01.122, 22.06-01.142, 22.06-01.144, 22.06-01.152, 22.06-01.188**

Компьютерный эксперимент и численное решение классических линейных задач

22.06-01.235 Шум обтекания кругового цилиндра и цилиндра с плоским донным срезом: эксперимент и численное моделирование. *Копьев В.Ф., Беляев И.В., Зайцев М.Ю., Шур М.Л., Травин А.К., Стрелец М.Х. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 176-179. Рус.

Определение уровня и спектрального состава шума, генерируемого при обтекании кругового цилиндра, является классической задачей аэроакустики и, в то же время, представляет большой практический интерес, поскольку цилиндрические тела входят в конструкции многих аэродинамических объектов (типичным примером таких объектов является шасси самолета). Как следствие, в литературе активно исследуются различные способы снижения шума обтекания цилиндра, такие, например, как использование пористых материалов, спиральных нитей или плазменных актуаторов. Альтернативный метод, состоящий в модификации поперечного сечения кругового цилиндра путем удаления его небольшого сегмента (цилиндр с плоским донным срезом) был предложен в ЦАГИ. Его эффективность была подтверждена в экспериментах, выполненных в АК-2 ЦАГИ, измерения шума в которых проводились с помощью метода азимутальной декомпозиции.

См. также **22.06-01.91, 22.06-01.92, 22.06-01.145, 22.06-01.146, 22.06-01.149, 22.06-01.150, 22.06-01.153, 22.06-01.154, 22.06-01.155, 22.06-01.157, 22.06-01.158, 22.06-01.159, 22.06-01.160, 22.06-01.161, 22.06-01.162, 22.06-01.163, 22.06-01.164, 22.06-01.165, 22.06-01.166, 22.06-01.167, 22.06-01.169, 22.06-01.170, 22.06-01.171, 22.06-01.172, 22.06-01.173, 22.06-01.174, 22.06-01.178, 22.06-01.182, 22.06-01.186, 22.06-01.219**

Компьютерный эксперимент и численное решение нелинейных задач

См. **22.06-01.145, 22.06-01.146, 22.06-01.149, 22.06-01.150, 22.06-01.153, 22.06-01.154, 22.06-01.155, 22.06-01.157, 22.06-01.158, 22.06-01.159, 22.06-01.160, 22.06-01.161, 22.06-01.162, 22.06-01.163, 22.06-01.164, 22.06-01.165, 22.06-01.166, 22.06-01.167, 22.06-01.169, 22.06-01.170, 22.06-01.171, 22.06-01.172, 22.06-01.173, 22.06-01.174, 22.06-01.175, 22.06-01.178, 22.06-01.182, 22.06-01.186, 22.06-01.219, 22.06-01.235**

Численное решение обратных задач

См. 22.06-01.41, 22.06-01.79, 22.06-01.134, 22.06-01.170, 22.06-01.171, 22.06-01.172, 22.06-01.173, 22.06-01.174, 22.06-01.178, 22.06-01.179, 22.06-01.180, 22.06-01.181, 22.06-01.182, 22.06-01.184, 22.06-01.219, 22.06-01.235

Обработка акустических изображений

22.06-01.236 Применение метода перенормировки с ограничением к акустическим изображениям. *Кожешкин А.В.* Журнал радиоэлектроники. 2022, № 2, с. 9. Рус.

Предлагается применение метода перенормировки с ограничением (МПО) для подавления спекл шума на различных видах акустических изображений. Принципиальная возможность существенного снижения уровня спекл-шума обнаружена вследствие того, что МПО перенормирует спекл акустического изображения к модели универсального опорного спекла (УОС), которая является моделью спекла оптического изображения «хорошего» качества. Для повышения общей резкости, после применения МПО, рекомендовано использовать дополнительную обработку, подходящую к своему виду изображений. Предложено оценивать степень подавления спекл-шума с помощью среднеквадратичного отклонения от изображения, усредненного по спрайту. Проведенное исследование позволяет сделать заключение о том, что применение МПО к различным акустическим изображениям позволяет существенно снизить присущий им спекл-шум.

22.06-01.237 Сегментация ультразвукового изображения отражателей, основанная на анализе близости гистограммы к распределению Рэлея. *Вазулин Е.Г.* Дефектоскопия. 2022, № 11, с. 3-12. Рус.

В настоящее время для повышения скорости подготовки протокола ультразвукового контроля и уменьшения влияния человеческого фактора активно разрабатываются системы распознавания (классификации) отражателей на основе искусственных нейронных сетей. Для более эффективной работы нейронных сетей изображения отражателей целесообразно обработать с целью повышения отношения сигнал/шум изображения и его сегментации (кластеризации). В статье предлагается метод сегментации, основанный на построении бинарной маски, скрывающей блики отражателей. Маска создается из условия получения максимально близкого вида гистограммы изображения к распределению Рэлея. Для решения задачи поиска минимума используется генетический алгоритм. В модельных экспериментах продемонстрирована эффективность применения данного подхода для сегментации изображений отражателей, восстановленных по экосигналам, измеренным с помощью антенных решеток. Для определения типа отражателя применялся метод, основанный на анализе амплитуд бликов изображений, восстановленных по разным акустическим схемам.

22.06-01.238 Цифровая когерентная обработка сигналов с расчетами в частотной области для решения задач ультразвуковой томографии с применением матричных антенных решеток с неэквидистантным расположением элементов. *Долматов Д.О., Ермошин Н.И.* Дефектоскопия. 2022, № 11, с. 13-26. Рус.

Задача повышения скорости восстановления изображений дефектов является актуальной проблемой развития промышленной ультразвуковой томографии на основе цифровой когерентной обработки сигналов матричных антенных решеток (АР). В контексте указанной проблемы в рамках данной работы рассмотрено совместное использование вычислительно-эффективных алгоритмов с расчетами в частотной области и матричных АР с неэквидистантным расположением элементов. Совместное применение указанных подходов по повышению скорости получения результатов обеспечивается за счет применения алгоритма цифровой когерентной обработки на основе неэквидистантного быстрого преобразования Фурье (НБПФ). Эффективность данного алгоритма была подтверждена экспериментально.

См. также 22.06-01.69

Акустическая голография и томография

22.06-01.239 Обратная задача акустической диагностики трехмерных сред. *Гончарский А.В., Романов С.Ю., Харченко С.А.* Вычислительные методы и программирование. 2006. 7, № 1, с. 113-121. Рус.

Работа посвящена разработке методов и алгоритмов решения прямых и обратных задач акустической диагностики трехмерных сред на компьютерах с параллельной архитектурой. Обратная задача рассмотрена в нелинейной постановке для уравнения Гельмгольца с неизвестным коэффициентом. Разработаны эффективные алгоритмы вычисления прямых и обратных задач, которые показали практически линейную масштабируемость при параллельных вычислениях на многопроцессорных системах. Это позволило на порядки увеличить скорость и размерность решаемых задач, а также оптимизировать параметры модельных экспериментов.

22.06-01.240 Об одной задаче ультразвуковой томографии. *Гончарский А.В., Романов С.Ю.* Вычислительные методы и программирование. 2011. 12, № 3, с. 317-320. Рус.

Работа посвящена решению коэффициентных обратных задач для волновых уравнений. Рассмотрен метод, основанный на возможности прямого вычисления градиента функционала невязки через решение сопряженной задачи для уравнения в частных производных. Приведены результаты модельных расчетов, показавшие высокую эффективность метода. Полученные результаты позволят продвинуться в создании 3D ультразвуковых томографов высокого разрешения.

22.06-01.241 Разработка высокоэффективных масштабируемых программ в задаче ультразвуковой томографии. *Воеводин В.В., Овчинников С.Л., Романов С.Ю.* Вычислительные методы и программирование. 2012. 13, № 2, с. 307-315. Рус.

Статья посвящена разработке масштабируемых программ для суперкомпьютеров в обратной задаче ультразвуковой томографии в приложении к медицине. Задача рассмотрена в постановке нелинейной коэффициентной обратной задачи для волнового уравнения. Предложена структура программы, позволяющая эффективно распараллеливать вычисления на кластерных вычислительных системах. Проведена оптимизация кода, которая позволила ускорить работу программ на порядок, а также обеспечить высокую степень масштабируемости. Проведены многочисленные тестовые расчеты на вычислительных системах МГУ "Чебышев" и "Ломоносов".

22.06-01.242 О применимости послынных моделей в решении трехмерных задач ультразвуковой томографии. *Агаян Г.М., Воеводин В.В., Романов С.Ю.* Вычислительные методы и программирование. 2013. 14, № 4, с. 533-542. Рус.

Статья посвящена проведению математического моделирования в сверхбольших задачах распространения ультразвуковых волн и в диагностике трехмерных физических сред на суперкомпьютерах. Результаты позволяют использовать ультразвуковые исследования в диагностике рака молочной железы. Стандартные подходы в задачах томографии предлагают исследовать 3D объекты по их двумерным сечениям. Эта схема идеально реализуется для рентгеновской томографии. В ультразвуковой томографии выделение тонких слоев не всегда оправдано, поскольку лучи могут искривляться из-за рефракции и покидать слой. В настоящей статье эта проблема иллюстрируется расчетом модельной задачи для шара, рассеяние на котором допускает аналитическое решение в виде рядов по спецфункциям. Это решение использовалось в качестве модельных данных прямой задачи для послынной реконструкции шара. Результаты моделирования свидетельствуют о возможности использования послынных схем в ультразвуковой томографии, однако необходимо учитывать ухудшение разрешения в ортогональном к слоям направлении. Проведено исследование эффективности коммуникаций и оптимизация кода программ с помощью средств профилировки и анализа трасс библиотеки mpiR. Разработаны высокопроизводительные программы для мощных суперкомпьютеров с высокой степенью масштабируемости. Модельные расчеты проводились на суперкомпьютерах МГУ им. М.В. Ломоносова "Чебышев" и "Ломоносов".

22.06-01.243 Итерационные методы решения об-

ратных задач ультразвуковой томографии. *Гончарский А.В., Романов С.Ю. Вычислительные методы и программирование.* 2015. 16, № 4, с. 464-475. Рус.

Статья посвящена строгому математическому обоснованию итерационных методов решения обратных задач ультразвуковой томографии. Обратные задачи ультразвуковой томографии рассматриваются в рамках скалярной модели волнового уравнения. Эта модель учитывает такие волновые эффекты, как дифракция, рефракция и др. Обратная задача рассматривается как коэффициентная обратная задача. На строгом математическом уровне получено представление для производной Фре-

ше функционала невязки по скорости распространения волн $c(r)$, которая характеризует неоднородную структуру объекта. Представление для производной Фреше получено как для двумерных задач, так и в трехмерном случае. Используя полученное представление для производной Фреше, авторы статьи предлагают для решения обратной задачи использовать градиентные методы минимизации функционала невязки. Предложенная в статье итерационная процедура допускает высокий уровень распараллеливания на суперкомпьютере.

См. также **22.06-01.45**

Акустика живых систем; Биологическая акустика

Действие акустических колебаний на биологические среды и живые организмы

22.06-01.244 Перспектива использования метода регистрации различных классов отоакустической эмиссии для динамической оценки состояния внутричерепного давления. *Пасекова О.В., Сигалева Е.Э., Марченко Л.Ю., Иванов К.П., Мацнев Э.И., Орлов О.И. Сенсорные системы.* 2022. 36, № 4, с. 338-348. Рус.

Экспериментальное исследование выполнено в условиях наземного моделирования физиологических эффектов микрогравитации — 21-суточной “сухой” иммерсии. На протяжении эксперимента десять здоровых добровольцев находились в ванне, наполненной термoneйтральной ($t=33\pm 1^\circ\text{C}$) водой, в положении лежа на спине, отделенные от поверхности воды водонепроницаемой пленкой и полностью погруженные в воду. Исследование функционального состояния улитки внутреннего уха проводилось с использованием методов задержанной вызванной отоакустической эмиссии (ЗВОАЭ) и отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения (ПИОАЭ). Анализ полученных данных показал статистически значимое снижение показателя отношения сигнал/шум ЗВОАЭ на частоте стимуляции 1 кГц ($p\leq 0.05$) и тенденцию к снижению показателя отношения сигнал/шум ПИОАЭ на частотах стимуляции ниже 1 кГц (556; 684; 988 Гц). Регистрация отоакустической эмиссии предлагается в качестве перспективного неинвазивного метода для изучения механизмов перераспределения жидких сред организма в краниальном направлении в условиях моделируемой микрогравитации и космического полета.

Распространение акустических волн в тканях и органах

22.06-01.245 Уравнение Гинзбурга—Ландау для анализа нелинейной неустойчивости в сердечной ткани. *Елюгина И.В. Биофизика.* 2022. 67, № 2, с. 378-385. Рус.

Физические основы технической акустики

Акустические измерения и аппаратура

22.06-01.250 Тестовый пример: сверхзвуковое обтекание тандема клиннев разрежения и сжатия. *Босняков С.М. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 302-317. Рус.

Целью предлагаемого теста является анализ точности расчета отрывных зон с использованием классических и вновь создаваемых программных продуктов.

22.06-01.251 Взаимодействие ударной волны с вих-

рем: тестовая задача для методов сквозного счета. *Родионов А.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 318-319. Рус.

См. также **22.06-01.244**

Математическое моделирование процессов в медицинской и биоакустике

22.06-01.246 Клонирование и конверсия произвольного голоса с использованием генеративных потоков. *Обухов Д.С. Автоматика и телемеханика.* 2022, № 10, с. 80-93. Рус.

DOI: 10.31857/S0005231022100087.

22.06-01.247 Математическое моделирование акустического поля для воздействия на репродуктивные клетки рыб в криозащитном растворе при эквilibрации. *Пономарева Е.Н., Соловьев А.Н., Матросов А.А., Чебаненко В.А., Нижник Д.А., Егорова А.А., Краcильникова А.А. Биофизика.* 2022. 67, № 4, с. 689-699. Рус.

DOI: 10.31857/S000630292204007X.

22.06-01.248 Численное моделирование работы левого желудочка сердца в системе кровообращения: эффекты изменения частоты сокращений и апикального инфаркта миокарда. *Сёмин Ф.А., Хабибуллина А.Р., Цатурян А.К. Биофизика.* 2022. 67, № 4, с. 763-775. Рус.

DOI: 10.31857/S0006302922040159.

22.06-01.249 Влияние нелинейности упругих свойств роговицы на результаты тонометрии по Шюццу: оценка на основе двухкомпонентной математической модели. *Моисеева И.Н., Штейн А.А. Биофизика.* 2022. 67, № 6, с. 1209-1219. Рус.

DOI: 10.31857/S0006302922060175.

Речеобразование и восприятие речи

См. **22.06-01.232, 22.06-01.246**

рем: тестовая задача для методов сквозного счета. *Родионов А.В. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 318-319. Рус.

Одна из актуальных и быстро развивающихся областей вычислительной аэрогазодинамики включает в себя широкий спектр задач, в которых турбулентные течения моделируются с помощью вихреразрешающих подходов. Такие задачи могут решаться только в трехмерной нестационарной постановке на подробных сетках; они предполагают привлечение больших вычислительных ресурсов и использование высокоэффективных CFD-методов. Рассмотрены вопросы, связанные с тестовой за-

дачей о взаимодействии вихря с ударной волной: зависимость структуры потока от базовых параметров задачи; краткий обзор работ по задаче; выбор постановки задачи, при которой ударно-волновая структура течения остается устойчивой; получение эталонного решения на выбранной постановке с максимально возможным сеточным разрешением; проведение сопоставительного анализа точности нескольких отобранных методов сквозного счета (с оценкой порядка сходимости к эталонному решению).

22.06-01.252 Применение метода акустической эмиссии и склерометрии для исследования образцов углепластиков с различной степенью отверждения матрицы. *Вешкин Е.А., Истягин С.Е., Кирилин С.Г., Семеновичев В.В. Вестник Самарского ун-та. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение.* 2022. 21, № 3, с. 85-95. Рус.

Образцы из листа углепластика толщиной 1,6 мм с различными режимами отверждения нагружались в упругой области по схеме консольного изгиба. Акустическая эмиссия регистрировалась с помощью осциллографа. В качестве критериев, оценивающих степень отверждения матрицы, использовалась характеристика микротвёрдости, оценка которой проводилась на лицевой поверхности образцов и в его поперечном сечении на фиксированных расстояниях от лицевой поверхности. Установлены зависимости частоты, амплитуды акустических сигналов, температуры, величины прогиба и расстояния до поверхности образца от микротвёрдости матрицы. Исследования показали, что значимым критерием, оценивающим влияние режима формирования углепластика, является величина микротвёрдости матрицы.

22.06-01.253 Перспективы применения осцилляторных энергетических преобразователей механической энергии в электрическую. *Хитрово А.А. Датчики и системы.* 2022, № 3, с. 40-47. Рус.

DOI: <https://doi.org/10.25728/datsys.2022.3.7> Рассмотрены перспективы применения устройств для использования механической энергии текучей водной среды на основе осциллирующего в потоке текучей среды полотна, в котором размещены пьезопреобразователи механической энергии колебаний в электрическую. Ключевые слова: преобразователи, энергетические, пьезоэлектрические, энергия, механическая, электрическая, осцилляция, водная среда, текучая.

22.06-01.254 Лабораторное моделирование процессов возбуждения звука автоколебательными режимами в течениях в трубопроводах систем теплообмена. *Сергеев Д.А., Кандауров А.А., Стуленков А.В., Суворов А.С. Инженерно-физический журнал.* 2022. 95, № 2, с. 408-415. Рус.

Выполнено лабораторное моделирование процессов шумоизлучения в турбулентных течениях теплоносителя в запорно-регулирующей арматуре трубопровода. Эксперименты проведены на аэроакустическом стенде, состоящем из модели проточной камеры запорно-регулирующей арматуры (параллелепипед), подводящей и отводящей труб, вытяжного вентилятора, камеры глушителя. Выполнялись параллельные измерения полей скорости PIV-методом и акустических характеристик микрофоном. Эксперименты проводились при различных ширинах зазоров между трубами в модели проточной камеры. При определенных значениях зазоров микрофоном регистрировалось тональное звучание на частотах 340 и 680 Гц, которое, как потом показали результаты измерений полей скоростей, является следствием возникновения автоколебательного режима течения с периодическим срывом вихрей, масштаб которых сопоставим с шириной зазора в проточной камере.

22.06-01.255 Выявление режимов и условий удаления влаги из материалов бесконтактным воздействием ультразвуковых колебаний. *Шалунов А.В., Хмелев В.Н., Терентьев С.А., Нестеров В.А. Инженерно-физический журнал.* 2022. 95, № 4, с. 925-933. Рус.

Исследована возможность интенсификации сушки материалов бесконтактным ультразвуковым воздействием на частоте 22 кГц при уровнях звукового давления до 175 дБ. Выявлено существенное увеличение скорости сушки материалов в диапа-

зоне уровней звукового давления от 160 до 165 дБ, что обусловлено реализацией механизмов удаления влаги из высушиваемого материала без фазового перехода, т.е. за счет диспергирования свободной влаги с поверхности материала ультразвуковыми колебаниями. При этом время сушки материала сокращается более чем на 40% по сравнению с его сушкой обычным сушильным аппаратом при потреблении УЗ аппаратом не более 25% от электрической мощности обычного сушильного аппарата, необходимой для высушивания материала массой 0.25 кг. Дальнейшее ускорение процесса не всегда целесообразно, поскольку сокращение времени сушки материала на 57.1% при воздействии на него звукового давления в 175 дБ требует более чем трехкратного (82% от полной электрической мощности сушильного аппарата) увеличения энергозатрат на создание УЗ колебаний.

22.06-01.256 Определение предельных скоростей суперкавитирующего движения ударников из разных материалов в воде. *Ищенко А.Н., Буржин В.В., Дьячковский А.С., Саммель А.Ю., Чурашев А.В. Инженерно-физический журнал.* 2022. 95, № 5, с. 1240-1247. Рус.

Проведены экспериментально-теоретические исследования подводного суперкавитирующего движения конических ударников в широком диапазоне скоростей. Выполнены оценки диапазона скоростей ударников для реализации их неразрушающего входа в воду и движения в ней в суперкавитирующем режиме. Показана возможность точного попадания суперкавитирующих ударников в подводные преграды в сверхзвуковом диапазоне скоростей движения.

22.06-01.257 Исследование структуры газогидратных отложений методами рентгеновской томографии и акустического зондирования. *Купер К.Э., Дробчик А.Н., Дучков А.А., Дугаров Г.А., Шарафутдинов М.Р. Инженерно-физический журнал.* 2022. 95, № 7, с. 1815-1820. Рус.

В рамках программы по развитию неразрушающих методов изучения свойств гетерогенных материалов были проведены исследования по сопоставлению данных о структуре газогидратных отложений ксенона, полученные методом рентгеновской микротомографии со скоростью распространения в них акустических волн. Газогидрат ксенона генерировался в водопесчаной среде при температуре +3°C и давлении 1 МПа в специально созданной для этих исследований экспериментальной ячейке. Полученные трехмерные рентгеновские изображения структуры с пространственным разрешением порядка 3 мкм позволяли хорошо выделять газогидрат ксенона на фоне водопесчаной среды. Результаты исследований показали, что гидрат формируется путем обволакивания гранул песка, неравномерно распределяясь в теле экспериментальной ячейки. Данные, полученные акустическим зондированием, хорошо согласуются с данными о микроструктуре. Наблюдается характерное увеличение скоростей продольных волн с 1.048 км/с до 1.564 км/с, обусловленное цементацией песка гидратом ксенона. Ключевые слова: газовые гидраты, рентгеновская томография, синхротронное излучение, акустические свойства гидратосодержащих сред.

См. также **22.06-01.66**, **22.06-01.88**, **22.06-01.151**, **22.06-01.157**, **22.06-01.168**, **22.06-01.195**, **22.06-01.196**, **22.06-01.197**, **22.06-01.204**, **22.06-01.207**, **22.06-01.244**

Акустическая диагностика и неразрушающий контроль

22.06-01.258 Распространение волн Лява в плоском слое полупространстве при нежестком контакте на границах. *Вагин А.В. Дефектоскопия.* 2022, № 11, с. 3-13. Рус.

Исследовано распространение волны Лява в слое твердого полупространстве с однородными и неоднородными граничными условиями на границах. Решена задача нахождения дисперсионного уравнения для волны Лява, распространяющейся в однородной и неоднородной среде. Найденные дисперсионные уравнения решены относительно волнового числа, а

также построены графические зависимости найденной скорости от частоты ультразвука и шероховатости для неоднородной среды.

22.06-01.259 Акустический контроль прутков композитной арматуры с учетом процента армирования. *Стрижак В.А. Дефектоскопия. 2022, № 11, с. 37-48. Рус.*

Необходимость в эффективных и производительных технических средствах контроля композитных материалов, выпускаемых в виде протяженных элементов (труба, прутки и т.д.), требует адаптации волноводной методики контроля к особенностям композитных материалов. Волноводная методика позволяет производить оценку качества стержня без сканирования и использует установку датчика на торец объекта контроля. Отстройка от влияния акустического контакта на получаемый результат реализуется использованием параметра, определяемого как отношение эхосигнала от неоднородности к амплитуде сигнала, отраженного от противоположного торца. Существенное влияние на результаты оказывает процент армирования композитного материала. Для композитной арматуры — это стекловолокно. Предложена модель, учитывающая влияние процента армирования стержня на результаты контроля стержневыми волнами. На основании модели рассчитаны коэффициенты и номограммы, позволяющие учесть процент армирования стержня и длину дефекта при принятии решения о его существенности. Представлен результат оценки значимости дефектов, выявленных в 5 партиях прутков разных производителей. Показаны дефекты, являющиеся значительными и малозначительными для свойств стержня композитной арматуры.

22.06-01.260 Приемы повышения достоверности оценки длины свай в составе существующих сооружений при обследовании сейсмоакустическим методом. *Чуркин А.А., Лосева Е.С., Лозовский И.Н., Сясько В.А. Контроль. Диагностика. 2022, 25, № 10, с. 24-32. Рус.*

DOI: 10.14489/td.2022.10.pp.024-032 Обследование свай, включенных в состав ростверка или существующего здания, — распространенная в практике капитального строительства задача. Неразрушающий сейсмоакустический метод позволяет получить оценку глубины заложения и сплошности свай. Это дает проектировщикам и строителям информацию об исследуемой конструкции, которую можно учесть при планировании дальнейшей эксплуатации фундамента. Интерес представляет вопрос повышения достоверности обследования свай в составе существующих сооружений. На примере результатов полевых испытаний показано применение методики разночастотного воз-

буждения сигнала при сборе данных и вейвлет-анализа сигналов при их обработке. Ключевые слова: испытания свай, контроль сплошности, неразрушающий контроль, сейсмоакустический метод, направленные волны, обработка данных, вейвлет-анализ.

См. также **22.06-01.252, 22.06-01.257**

Акустические методы обработки материалов и изделий

22.06-01.261 Влияние ультразвуковой обработки на механические свойства металлов, подвергнутых интенсивной пластической деформации. *Рубаник В.В., Царенко Ю.В., Ванг Д.Т., Лио Ю. Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2022, 66, № 3, с. 356-364. Рус.*

Описано оригинальное устройство для получения наноструктурных материалов методом интенсивной пластической деформации с наложением ультразвуковых колебаний, которое обеспечивает измельчение структуры материала заготовки и исключает возникновение дефектов на ее поверхности и в торцевых областях. Этот эффект достигается за счет использования кольцевой прокладки, выполненной в виде полого волновода резонансной длины, закрепленного на неподвижной опоре в узле смещений, соединенного с концентратором и ультразвуковым преобразователем. Исследованы физико-механические свойства наноструктурных образцов никеля и меди после ультразвуковой обработки (УЗО). Показано, что УЗО наноструктурных образцов приводит к повышению их пластических свойств и незначительному снижению предела прочности. При малых амплитудах механических напряжений в пределах 17,5 МПа в образцах меди и никеля наблюдается заметный рост микротвердости. Дальнейшее увеличение амплитуды механических напряжений при ультразвуковой обработке до 100 МПа приводит к снижению микротвердости.

Акустический мониторинг технологических процессов

См. **22.06-01.254**

Акустические стандарты

22.06-01.262 Пьезоэлектрический преобразователь пространственной вибрации повышенной надёжности (Окончание). *Смирнов В.Я. Мир измерений. 2022, № 1, с. <https://ria-stk.ru/mi/detail.php?year=2022&mount=h>*

Акустика в медицинской практике

Ультразвук в лабораторных медицинских исследованиях

22.06-01.263 Диагностика артериальных сосудов спортсменов с помощью доплеровского ультразвукового измерения. *Скрипаль А.В., Фомин А.В., Бахметьев А.С., Брилёнок Н.Б., Сагайдачный А.А., Добдин С.Ю., Тихонова А.С. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2022, 22, № 2, с. 141-148. Рус.*

С помощью доплеровского ультразвукового измерения исследован объемный кровоток артериальных сосудов спортсменов, имеющих высокий спортивный разряд. Диагностика проводилась по результатам измерения скорости артериального кровотока в условиях реактивной гиперемии плечевой артерии и по отношению обратного объемного кровотока к объемному систолическому кровотоку. Обследовались две группы добровольцев: группу 1 составили неспортивные добровольцы, не страдающие сердечно-сосудистой патологией, а группу 2 — спортсмены, имеющие разряд кандидата в мастера спорта по гребле на байдарках и каноэ и регулярные интенсивные тренировки. Сравнительный анализ изменения УЗИ-доплерограмм спортсменов и нетренированных обследуемых свидетельствует о значительном отличии как в величине пиковой скорости артериального кровотока в условиях реактивной гиперемии плечевой артерии, так и обратного объемного кровотока в условиях отсутствия функциональной нагрузочной пробы. Проведенные измерения показали, что отношение объемной скорости обратного кровотока к объемной скорости систолического кровотока у спортсменов значительно больше.

Акустика в инженерном деле

22.06-01.264 Повышение прочности паяных соединений введением углеродных нанотрубок в паяльные пасты. *Жданок С.А., Ланин В.Л., Емельянов В.А., Краужлис А.В. Инженерно-физический журнал.* 2022. 95, № 6, с. 1465-1470. Рус.

Достигнуто повышение прочности паяных соединений, полученных оплавлением паяльных паст на основе бессвинцовых припоев, путем введения в их состав углеродных нанотрубок с

использованием ультразвуковых колебаний. Исследовано влияние содержания углеродных нанотрубок в пасте на механические свойства паяных соединений и паяемость покрытий электронных компонентов. Ключевые слова: паяльные пасты, углеродные нанотрубки, прочность соединений, ультразвуковые колебания.

См. также **22.06-01.138**, **22.06-01.209**

Физика

22.06-01.265 Малые атомные кластеры: квантово-химические расчеты физических и термодинамических свойств и кинетики элементарных процессов с их участием. *Лузовицкий Б.И., Шарипов А.С. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 167-173. Рус.

22.06-01.266 О кинетике окисления алюминия в различных окислительных средах и механизме нуклеации оксида алюминия. *Кулешов П.С., Старик А.М., Савельев А.М., Титова Н.С. Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики и физической химии в авиационном двигателестроении. Сборник научных трудов.* М.: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020, с. 174-181. Рус.

22.06-01.267 Проектирование базовых модельных ступеней центробежных компрессоров методами вычислительной гидродинамики. *Ахметзянов А.М., Дубинин Е.В., Хасанов Н.Г., Хуснутдинов И.Ф. Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике: Девятая российская конференция, г. Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.: Сборник тезисов.* М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022, с. 256-260. Рус.

Проектирование центробежных компрессоров на гарантированный уровень расхода, эффективности и напора возможно путем пересчета характеристик модельной ступени на натурные условия. В АО «НИИ Турбокомпрессор» применяются ряды модельных ступеней, как собственной разработки, так и модифицированные ступени лицензионного ряда Dresser Klark.

22.06-01.268 Изменение ориентации тела при помощи трех пар подвижных масс. *Чернуосько Ф.Л. Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки.* 2022. 506, № 2, с. 60-65. Рус.

DOI: 10.31857/S2686740022070021.

22.06-01.269 Необратимость времени в общей теории относительности. *Цой В.И. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика.* 2022. 22, № 4, с. 374-379. Рус.

Уравнения классической динамики частиц и волн допускают решения с обратным течением времени, и принято считать, что в них не отражается необратимость времени. В то же время энтропия в термодинамике и коллапсы волновых функций в квантовой механике свидетельствуют о том, что в этих разделах физики необратимость времени проявляется. Однако можно привести аргументы в пользу того, что основные классические уравнения непрерывного движения в механике, электродинамике и квантовой механике не допускают движения в обратной последовательности полностью по всем параметрам физических состояний. При этом преобразования с инверсией времени в совокупности с инверсией импульсов или связанных с ними величин возможны и приносят существенную пользу в анализе физических процессов. Для расширения картины преобразований со временем особый интерес представляет инверсия течения времени в уравнениях общей теории относительности, так как динамическими переменными в ней выступают метрические характеристики самого пространства-времени, а системы отсчета являются неинерциальными. В статье рассмотрены преобразования с инверсией времени в динамических

уравнениях гравитационного поля, частицы в гравитационном поле, а также в решениях уравнений для гравитационной волны и для изотропной космологической модели.

22.06-01.270 Разработка алгоритмов автоматической юстировки оптической системы с двухзеркальным телескопом. *Мейтин В.А., Мокшанов В.Н., Олейников И.И., Периков А.П. Оптический журнал.* 2022. 89, № 1, с. 3-16. Рус.

DOI:10.17586/1023-5086-2022-89-01-03-16 Рассматривается решение комплексной задачи автоматической юстировки оптической системы с двухзеркальным телескопом, который служит для вывода лазерного излучения и является составной частью приемного канала, на основе разработки алгоритмов управления оптическими элементами. Для обеспечения юстировки используется контрольная система в виде встроенных в телескоп юстировочных узлов. Представлено математическое описание их конструкций и способов работы с ними, на основании которых предлагаются алгоритмы для автоматической юстировки.

22.06-01.271 Голографический прицел с одномерной телескопической оптической системой. *Корешев С.Н., Старовойтов С.О. Оптический журнал.* 2022. 89, № 1, с. 47-53. Рус.

DOI:10.17586/1023-5086-2022-89-01-47-53 Предложена схема голографического коллиматорного прицела с одномерной телескопической оптической системой. В основу схемы положено использование в оптической системе прицела одномерной телескопической оптической системы, образуемой ахроматизирующей дифракционной решеткой и голограммой, формирующей изображение прицельной марки. Установлено, что непараллельно располагаемые плоская дифракционная решетка и голограмма могут выполнять функции одномерной телескопической системы. Такая система позволяет скомпенсировать различную расходимость излучения в главных сечениях входящего в состав прицела лазерного диода и уменьшить в одном из его главных сечений апертуру формируемого в прицеле параллельного пучка лучей, используемого для восстановления голограммы. Вместе с тем, такое взаимное расположение решетки и голограммы приводит к ограничению спектрального диапазона, в пределах которого обеспечивается компенсация температурного дрейфа положения линии визирования. Представлены выражения, позволяющие определить соотношения пространственной частоты решетки с несущей пространственной частотой голограммы, позволяющие минимизировать температурный дрейф линии визирования. Приведены геометрические параметры схемы прицела, обеспечивающие при его минимальных габаритах остаточный температурный дрейф линии визирования, не превышающий угловое разрешение глаза. Рассмотрены технологические аспекты изготовления дифракционных оптических элементов прицела. Предложенная в настоящей работе схема голографического коллиматорного прицела сочетает в себе основное достоинство схемы прицела световодного типа, а именно малое, составляющее 0,8 долю высоты апертуры голограммы, расстояние от основания прицела до линии визирования с относительной простотой сборки и юстировки элементов оптической схемы прицела, характерной для прицела с вогнутой дифракционной решеткой.

22.06-01.272 Оценка уровня знания иностранного языка на основе данных о движениях глаз. *Демарева В.А., Голубинская А.В., Еделева Ю.А., Голубин Р.В. Оптический журнал.* 2022. 89, № 8, с. 76-85. Рус.

Предмет исследования. Технологию оптической записи движений глаз применили для оценки уровня знания иностранного языка. Провели анализ отражения неосознаваемых познавательных процессов в окулографических данных при чтении и связи характеристик движения глаза с тем, насколько сложным этот текст кажется читателю. Цель работы заключалась в поиске взаимосвязи между особенностями движения глаз при чтении на родном и иностранном языке с учётом особенностей самого языка и уровня владения им. Метод. Исследование состояло из двух этапов, суммарный объём выборки составил 63 человека — русскоязычных студентов в возрасте 19–27 лет, для которых английский язык является иностранным. Уровень знания русского и английского языка оценивался по методике С-тест. Экспериментальная задача была следующая — после прохождения 9-точечной калибровки прочитать англоязычные тексты на слайдах и ответить на вопросы на понимание. Запись движений глаз проводилась на установке SMI-High Speed Tracker 12 бинокулярно с частотой дискретизации 500 Гц. Первый этап был направлен на изучение особенностей движений глаз при чтении текстов на родном и иностранном языке (при высоком уровне владения последним). Второй этап был направлен на изучение особенностей движений глаз при чтении иностранных текстов при разном уровне знания иностранного языка. Основные результаты. Показано, что параметры движений глаз отличаются при чтении текстов на родном (русском) и иностранном (английском) языках даже при высоком уровне владения последним. Установлено, что паттерны глазных движений изменяются при разном уровне владения иностранным (английским) языком при чтении на нём. Практическая значимость. Полученные данные дают оценку сложности текста для испытуемого. Оценка сложности текста по характеристикам движений глаз позволит создать алгоритмы нормирования различных текстов по сложности. Результаты проведённых исследований могут быть использованы при проектировании автоматических систем оценки уровня владения иностранным языком.

22.06-01.273 Эффекты гравитационного поля, создаваемые топологически нетривиальной геометрией и вращающимися системами отсчета с учетом скалярного потенциала кулоновского типа. Gravitational Field

Effects Produced by Topologically Non-trivial Geometry and Rotating Frames Subject to a Coulomb-Type Scalar Potential. *Ahmed F. Ж. эксперим. и теор. физ.* 2022. 162, № 5, с. 673-679. Англ.

Rotation and rotating frames have always been a source of confusion while dealing with the problem of a uniformly rotating disk and its spatial geometry in the context of special theory of relativity (STR). An interesting feature in treating a rotational phenomena is the Galilean rotational transformation (GRT) between inertial (laboratory) frames and non-inertial rotating frames. DOI: 10.31857/S0044451022110074.

22.06-01.274 О микроволновом отклике на бегущую симметричную быструю магнитозвуковую волну. *Курьянова Е.Г., Кальтман Т.И., Накаряков В.М., Колотков Д.Ю., Кузнецов А.А. Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника.* 2022. 65, № 4, с. 287-300. Рус.

Исследован наблюдаемый отклик микроволнового излучения на возмущение поперечно-неоднородного плазменного слоя, вытянутого вдоль однородного магнитного поля, бегущей вдоль него симметричной (sausage) быстрой магнитозвуковой волной. Двумерное моделирование проведено в рамках аналитического решения системы линеаризованных уравнений магнитогидродинамики. Источником гиросинхротронного излучения являются ускоренные электроны, заполняющие только часть слоя. Показано, что для гиросинхротронных источников с поперечным размером, существенно меньшим ширины слоя, для всех углов зрения происходит усиление микроволнового отклика на быструю магнитозвуковую волну: глубина модуляции излучения на порядок превышает исходную амплитуду волны, в то время как для гиросинхротронных источников с размером больше ширины слоя имеет место обратный эффект. Контраст глубины модуляции излучения узких и широких источников растёт с повышением разницы концентраций в слое и вне его. Найдено, что микроволновый отклик на быструю магнитозвуковую волну слоя является нелинейным, что при определённых сочетаниях параметров приводит к полному исчезновению периодического отклика или к удвоению его частоты.

См. также **22.06-01.121**, **22.06-01.253**

Астрономия

22.06-01.275 Вычисление дифференциальных кодовых задержек и построение карт ионосферы с помощью ГНСС. *Аржанников А.А., Глотов В.Д., Митрикас В.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 60.* СПб.: ИПА РАН. 2022, с. 3-11. Рус.

Статья посвящена проблеме расчета карт полного электронного содержания ионосферы (ПЭС, англ. TEC) и калибровке навигационной аппаратуры с помощью измерений ГНСС на этапе эксплуатации. Актуальность темы обусловлена влиянием ионосферных задержек и транслируемых в навигационном кадре межчастотных задержек на точность местоопределения. Кратко представлены три различных способа уточнения дифференциальных кодовых задержек (DCB, англ. differential code biases) космических аппаратов и беззапросных измерительных станций для всех существующих ГНСС, а также методы построения локальных и глобальных карт TEC ионосферы. Представлена оценка точности межчастотных задержек в навигационных кадрах всех ГНСС по данным Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения АО «ЦНИИмаш». Погрешность межчастотной задержки в навигационном кадре ГЛОНАСС значительно выше в сравнении с другими ГНСС (СКО более 0.5 м для ГЛОНАСС и менее 0.1 м для остальных ГНСС). Проведено сравнение четырех вариантов расчета DCB^{SC} космического аппарата ГЛОНАСС, все четыре набора DCBSCDCBSC имеют попарные СКО между собой менее 0.1 м. Также приведена оценка точности расчета глобальных ионосферных карт Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения: ~ 1.5 TECu на 1 августа 2021 г. (1 ед.

TECu= 10^{16} электронов/м², что соответствует задержке в ~ 16 см для L1).

22.06-01.276 Новые методы достижения перспективного уровня точности координатно-временных измерений. *Безменов И.В., Игнатенко И.Ю., Пасынок С.Л. Труды Института прикладной астрономии РАН № 60.* СПб.: ИПА РАН. 2022, с. 12-20. Рус.

В рамках GGOS Международной ассоциацией геодезии IAG провозглашена цель достижения миллиметровых точностей определения координат опорных пунктов. Для достижения таких точностей необходимо оборудовать пункты измерений средствами РСДБ, ГНСС и СЛД нового поколения. Поскольку целевые показатели точности находятся на границе возможностей современных средств измерений, необходимо совершенствовать модели и методы предварительной и вторичной обработки измерений. При предварительной обработке измерений возникает задача отбраковки выбросов — результатов грубых измерений. Эта задача тесно связана с проблемой поиска неизвестного тренда (как правило, полиномиального) в измерительных данных. Очевидно, что неверное определение тренда может привести к неправильному детектированию выбросов, и хорошие измерения могут быть отбракованы, а неточные — оставлены, что в конечном итоге отрицательно скажется на точности итогового результата. Другая проблема — это детектирование грубых измерений в данных со снятым трендом. Одной из целей при создании алгоритмов детектирования в этом случае является минимизация количества отбракованных данных. Причем в случае ГНСС-измерений потеря какой-то части данных на предварительном этапе обработки может не оказывать

существенного влияния на конечный результат ввиду огромного числа навигационных измерений. Однако при обработке СЛД-измерений важно каждое отдельное измерение. Для решения задачи автоматического детектирования грубых измерений на стадии их предварительной обработки были привлечены алгоритмы, разработанные И.В. Безменовым, С.Л. Пасынком и др. Изначально они были разработаны для отбраковки грубых ГНСС-измерений и показали свою эффективность в сравнении с другими известными методами (меньшее количество вычислительных операций, меньшее число отбракованных точек при одном и том же значении порога отбраковки). В результате применения этих алгоритмов для предварительной обработки лазерных измерений И. Ю. Игнатенко удалось добиться большей точности сформированных нормальных точек при меньшем числе отбракованных данных. Также была показана эффективность предлагаемого алгоритма при предварительной обработке СЛД-измерений в условиях наличия аномальной атмосферной рефракции. Детальное описание некоторых алгоритмов, использованных в данной статье, а также их теоретическое обоснование приведено в Главе 9 «Effective Algorithms for Detection Outliers and Cycle Slip Repair in GNSS Data Measurements» (Bezmenov, 2021), опубликованной в сборнике на английском языке «Satellite Systems: Design, Modeling, Simulation and Analysis».

22.06-01.277 Влияние нестабильности задержки сигналов в аппаратуре радиотелескопов на оптимальное время накопления сигнала радиointерферометра. *Векшин Ю.В., Кен В.О., Миронова С.М., Курдюбов С.Л. Труды Института прикладной астрономии РАН № 60. СПб.: ИПА РАН. 2022, с. 21-26. Рус.*

Точность определения поправок всемирного времени в значительной степени определяется точностью измерения задержки прихода сигнала источника на радиотелескопы, входящие в состав радиointерферометра. Погрешность измерения групповой задержки зависит, в том числе, от нестабильности задержки сигналов в аппаратуре радиотелескопов. Результаты оценки нестабильности задержки следует использовать при планировании времени наблюдения источников в сеансах РСДБ. Целью работы является создание методики определения оптимального времени накопления сигнала радиointерферометра и её применение при обработке сеансов по определению поправок всемирного времени. Стабильность задержки корреляционного отклика радиointерферометра анализируется по записи непрерывного часового сопровождения источника. С помощью расчета отклонения Аллана определяется оптимальное время накопления сигнала, при котором достигается минимальная погрешность определения задержки. Оптимальное время накопления сигнала конкретного источника определяется таким образом, чтобы расчетное СКО задержки было не меньше отклонения аппаратурной нестабильности. В статье представлены результаты измерений стабильности задержки корреляционного отклика радиointерферометра на базе радиотелескопов РТ-13 в S-, X-, Ka-диапазонах. Приведены результаты сравнения оценок погрешности определения поправок всемирного времени со штатными и с предложенным оптимальным временем накопления сигналов источников.

22.06-01.278 Результаты мониторинга мазерного излучения ОН с частотой 1665 МГц в источниках W3, W49, W51 и W75 на радиотелескопе РТ-32 в обсерватории «Светлое». *Ипатов А.В., Рахимов И.А., Гренков С.А., Коляцов Н.Е. Труды Института прикладной астрономии РАН № 60. СПб.: ИПА РАН. 2022, с. 27-38. Рус.*

Основной целью данной работы является выявление длительной переменности спектров космического мазерного радиоизлучения межзвездного гидроксила за период 2009–2020 гг. в источниках W3(ОН), W49, W51 и W75 на частоте 1665.402 МГц в двух круговых поляризациях, наблюдения которых проводятся в рамках программы Ru-ОН на радиотелескопе РТ-32 комплекса «Квазар-КВО» в обсерватории «Светлое» с 2006 г. Считается, что изменения космического мазерного излучения в долговременных масштабах может быть обусловлено вариациями внутренних свойств источников. По этой причине обобщенные данные о переменности отдельных компонент мазерных источников могут представлять интерес для астрофизи-

ков при построении математических моделей космических мазеров и анализа физических условий в областях звездообразования. Методика наблюдений и обработки. Наблюдения мазеров гидроксила проводятся с использованием штатного приемного устройства радиотелескопа РТ-32 диапазона L, видеоконвертеров и БПФ-спектрометра. Регистрация спектров излучения источника сигнала выполняется по методу «On source—Off source» с калибровкой амплитуды потока по стабильному калибровочному источнику радиоизлучения в континууме. Зарегистрированные на заданном интервале времени (~180–600 с) спектральные профили проходят тщательную визуальную отбраковку на предмет искажения помехами и/или аппаратурными эффектами и последующую статистическую обработку. В результате статистической обработки построены зависимости интенсивности радиоизлучения, которые позволяют выявить тренды к усилению или ослаблению компонент спектральных профилей радиоизлучения, а в отдельных случаях — выявить длительные усиления или ослабления этих компонент во время вспышечной активности источников мазерного излучения. Основные результаты. Проведенные на радиотелескопе РТ-32 в обсерватории «Светлое» регулярные спектральные наблюдения областей источников мазерного излучения ОН в W3(ОН), W49, W51 и W75 на частоте 1665 МГц позволили отследить и выявить переменность отдельных компонент их излучения на основе однородных данных.

22.06-01.279 Совместная передача сигналов опорной частоты и шкалы времени по одному оптическому волокну. *Карпичев А.С., Зиновьев П.В., Вытнов А.В. Труды Института прикладной астрономии РАН № 60. СПб.: ИПА РАН. 2022, с. 39-43. Рус.*

Волоконно-оптические линии передачи занимают все более прочные позиции в вопросах передачи как цифровых, так и аналоговых сигналов различного назначения. В обсерваториях, входящих в состав комплекса «Квазар-КВО», по волоконно-оптическим линиям передачи осуществляется передача гармонического сигнала опорной частоты, а также импульсных сигналов шкалы времени, используемых для синхронизации удаленного оборудования. В настоящее время эти сигналы передаются по независимым линиям связи, в то время как объединение этих систем в одну позволило бы повысить точность калибровки линии передачи. В данной работе представлены экспериментальные результаты по совместной передаче сигналов опорной частоты и шкалы времени по одному оптическому волокну. Объединение оптических сигналов достигнуто при помощи CWDM-мультиплексирования (Coarse Wavelength Division Multiplexing, мультиплексирование с грубым разделением по длине волны), широко используемого в телекоммуникационном оборудовании. В ходе эксперимента на суточном интервале получены данные о поведении сигналов опорной частоты и шкалы времени в линии передачи: при помощи измерителя временных интервалов зафиксировано изменение задержки сигнала шкалы времени в ходе эксперимента; при помощи фазового компаратора измерена нестабильность сигнала опорной частоты, вносимая линией передачи. Результаты, представленные в статье, позволяют сделать вывод, что предлагаемый способ передачи сигналов пригоден для использования в РСДБ-системах нового поколения. При этом появляется возможность измерять в реальном времени задержку распространения сигналов в линии передачи с точностью лучше 100 пс.

22.06-01.280 Охлаждаемый сверхширокополосный квадратурный направленный ответвитель. *Черников В.С., Хвостов Е.Ю., Чернов В.К. Труды Института прикладной астрономии РАН № 60. СПб.: ИПА РАН. 2022, с. 44-48. Рус.*

Целью данной работы является разработка сверхширокополосного квадратурного направленного ответвителя, работающего в диапазоне 3–16 ГГц, с возможностью охлаждения до температур ~10 К для уменьшения активных потерь и использования в составе высокочувствительных радиоастрономических систем. Применение данного устройства в совокупности с облучателем с ортогональными линейными поляризациями позволяет сформировать правую и левую эллиптические поляризации с коэффициентом эллиптичности не более 3 дБ. Методика, используемая при разработке, представляет собой проек-

тирование отдельных секций устройства с помощью справочных данных, анализ полноценного устройства путем электродинамического моделирования и векторный анализ изготовленного макета при температурах ~ 300 К и 10 К. При криогенном охлаждении взяты в расчет характеристики СВЧ-тракта измерительного криостатируемого блока. При разработке корпуса учтены негативные факторы, которые могут быть вызваны эффектами теплового сжатия. Используются соединения со скользящим контактом и специальная форма корпуса. Для плотного прилегания слоев конструкции предусмотрена система отверстий под винты. Выбран материал с близкими значениями коэффициентов температурного расширения по всем направлениям и сопоставимыми со значением данного параметра для меди. Представлены результаты разработки макета сверхширокополосного квадратного направленного ответвителя с рабочей полосой 3—16 ГГц и возможностью охлаждения до температуры ~ 10 К. Из электродинамической модели были найдены параметры топологии устройства и определены оптимальные толщину диэлектрических слоев. В работе приведены результаты измерений характеристик направленного ответвителя при температурах 300 К и 10 К.

22.06-01.281 **Обработка и анализ РСДБ-наблюдений космических аппаратов системы ГЛОНАСС комплексом «Квazar-КВО». Пасынков В.В., Суржик И.Ф., Титов Е.В., Гулидов Д.А., Широкий С.М. Труды Института прикладной астрономии РАН № 61. 2022, с. 3–27. Рус.**

Изложен подход к решению проблемы повышения точности определения эфемерид ГЛОНАСС до уровня, обеспечивающего конкурентоспособность системы на мировом рынке соответствующих услуг. Подход основан на совместном использовании следующих «техник»: ГНСС, лазерная локация спутников ГЛОНАСС с помощью квантово-оптической системы и РСДБ-наблюдения спутников с дальнейшей совместной обработкой измерений. Показано, что необходимым условием для реализации предлагаемого подхода является процедура совмещения систем координат, используемых в перечисленных методах. Продемонстрирована возможность такого совмещения на примере совместного использования ГНСС-техники (апостериорные эфемериды), техники КОС и РСДБ. В мае 2017 г. проведен эксперимент по наблюдению КА ГЛОНАСС радиотелескопами РТ-32 обсерваторий «Бадары», «Светлое», «Зеленчукская» РСДБ-комплекса «Квazar-КВО». В связи с ограниченным приемным диапазоном радиотелескопов наблюдения проведены только в диапазоне L1 (18 см). Корреляционная обработка выполнена на Программном корреляторе РАН со специально доработанным программным обеспечением. Определены групповая и фазовая РСДБ-задержки сигнала. В ходе анализа данных наблюдений ионосферная задержка учтена с помощью ионосферных карт полного электронного содержания, получаемых по данным ГНСС-приемников. Для расчета тропосферных задержек использовано несколько методов: объединенная в SINEX-файлах информация от разных источников данных, данных РСДБ-наблюдений и данных радиометров водяного пара; наиболее точными в данном эксперименте оказались данные SINEX-файлов. Параметры стандартов времени станций определены как по данным ГНСС-приемников с привлечением информации от КОС о дальности до КА, так и по РСДБ-наблюдениям. В результате анализа показано, что достигнут миллиметровый уровень (6–18 мм) точности интерпретации новой навигационной функции РСДБ-задержки, полученной по сигналам системы ГЛОНАСС при работе РСДБ-станций по навигационному сигналу в одночастотном режиме (диапазон L1), и сантиметровый уровень точности определения рассогласования координат, формируемых с использованием различных техник (РСДБ—ГНСС—КОС). Разработаны предложения по совершенствованию РСДБ-техники при работе по навигационным сигналам КА системы ГЛОНАСС.

22.06-01.282 **Обработка ГНСС-наблюдений в ИПА РАН. Суворкин В.В., Гаязов И.С., Курдубов С.Л. Труды Института прикладной астрономии РАН № 61. 2022, с. 28–37. Рус.**

Регулярное определение параметров вращения Земли из обработки наблюдений, получаемых с использованием различных методов космической геодезии, является одной из основных за-

дач, решаемых в ИПА РАН в режиме службы. Обработка наблюдений спутников GPS в рамках службы ПВЗ была начата в 2000 г. с использованием разработанного в Институте программного пакета, главная особенность которого заключалась в формировании тройных разностей фазовых измерений. Применение этого подхода позволяло эффективно использовать пакет для определения минимально необходимого набора параметров (ПВЗ, параметров орбит спутников и тропосферы), располагая достаточно скромными вычислительными ресурсами. Однако применяемая методика формирования тройных разностей, закономерно приводящая к значительному возрастанию дисперсии таких измерений, ограничивала дальнейшее повышение точности результатов, несмотря на привлечение наблюдений большего числа станций и на улучшение используемых моделей. Поэтому в 2011 г. была начата разработка новой версии программного пакета, основанной на схеме обработки измерений без формирования их разностей. Такая схема обработки наблюдений позволяет определять наиболее полный набор параметров: ПВЗ, являющиеся основным продуктом в рамках службы, параметры орбит спутников, параметры тропосферной задержки сигнала и поправки часов станций и спутников. В статье представлены основные характеристики нового программного пакета, используемого в службе ПВЗ с 2014 г. Дан краткий обзор используемых моделей, которые в основном соответствуют рекомендациям IERS. Приведены особенности алгоритма предварительной обработки и фильтрации измерений, схемы параметризации, формирования и решения системы нормальных уравнений с использованием двухгруппового метода наименьших квадратов, а также особенности реализации временной шкалы. С использованием разработанного пакета в рамках службы ПВЗ ежедневно обрабатываются наблюдения GPS-и ГЛОНАСС-спутников на станциях глобальной сети. В статье кратко описаны режимы обработки наблюдений и приведены оценки характеристик основных результатов. Сравнение результатов с данными международных служб показывает высокую точность получаемых ПВЗ, орбит спутников, параметров тропосферы и поправок часов.

22.06-01.283 **Интерактивное повествование в виртуальном окружении: обучающая система "Виртуальный планетарий". Байгозин Д.А., Батуллин Ю.М., Гебель М., Клименко С.В., Леонов А.В., Никитин И.Н., Никитина Л.Д. Вычислительные методы и программирование. 2005, 6, № 1, с. 10–23. Рус.**

Обсуждается новая технология построения мультимедийных динамических документов — интерактивному повествованию в виртуальном окружении. Это — перспективное направление развития компьютерных технологий, которое находится на стыке систем управления электронными документами, информационных систем, компьютерных игр, обучающих программ, виртуальных тренажеров и интерактивных моделей. Введены основные термины и понятия новой предметной области, рассмотрены методы и технологии создания интерактивных приложений в виртуальном окружении, описаны принципы построения интерактивного повествования в виртуальном окружении на примере обучающей системы "Виртуальный Планетарий".

22.06-01.284 **Векторная коррекция скоростной aberrации для внутриагмосферного звёздного датчика ориентации. Васильюк Н.Н. Авиакосмическое приборостроение. 2022, № 10, с. 17–31. Рус.**

Алгоритм коррекции скоростной aberrации синтезирован с учётом специфики применения звёздного датчика ориентации на атмосферном летательном аппарате. В таком применении для коррекции скоростной aberrации достаточно использовать только вектор скорости центра масс Земли. Значения векторов переносной и путевой скорости летательного аппарата можно не учитывать за счёт принятия малой методической погрешности алгоритма. Алгоритм коррекции рассмотрен с точки зрения классической механики и специальной теории относительности. В релятивистском рассмотрении алгоритма описаны особенности трактовки понятия «ориентации» движущегося базиса относительно неподвижного. Показано, что классический и релятивистский подходы к коррекции aberrации совпадают в пределах технически достижимых точностей измерения в современных астронавигационных приборах. Приведён алгоритм

расчёта вектора скорости центра масс Земли, пригодный для реализации в вычислителе реального времени. Численные коэффициенты в этом алгоритме получены аппроксимацией высокоточных эфемерид Земли на ближайшие 100 лет. Ключевые слова: скоростная абберация, астродатчик, астронавигация, эфемериды Земли, релятивистские эффекты, системы координат.

22.06-01.285 Дискретные марковские модели оценивания вероятностных характеристик обнаружения космического мусора в окрестностях орбитальных объектов. *Минаков Е.П., Власов Р.П., Александров М.А., Данилюк Б.А. Авиакосмическое приборостроение. 2022, № 10, с. 32-42. Рус.*

Введение: защита особо значимых орбитальных объектов является актуальной задачей в условиях возрастающего засорения мусором околоземного космического пространства. Учет случайных факторов при обнаружении и определении параметров его движения, а также неопределенность гелиогеофизических условий, влияющих на применение бортовой специальной аппаратуры соответствующих космических аппаратов приводит к необходимости разработки научных основ решения задач оценивания вероятностных характеристик процессов обнаружения космического мусора в окрестностях орбитальных объектов. Цель исследования: разработка моделей определения вероятности обнаружения космического мусора в зоне безопасности орбитального объекта и математического ожидания расхода потребного для этого ресурса космического аппарата наблюдения, а также оптимальных значений элементов матриц вероятностей переходов между состояниями соответствующего процесса. Методы: для достижения поставленной цели использованы методы теории дискретных цепей Маркова. Результаты: разработаны пять событийная стохастическая модель, граф переходов между состояниями процесса и матрицы вероятностей переходов, обеспечивающие по заданным начальным условиям пошаговое оценивание вероятности обнаружения космическим аппаратом наблюдения космического мусора в зоне безопасности орбитального объекта, а также модель оценивания математического ожидания соответствующего расхода ресурса такого космического аппарата. Для определения оптимальных значений элементов матриц вероятностей переходов предложен подход, обеспечивающий максимум вероятности наступления финального состояния процесса за заданное количество шагов и базирующийся на процедуре случайного поиска. Практическая значимость: результаты исследований могут быть использованы для оценивания технических характеристик создаваемых космических аппаратов наблюдения, предназначенных для обнаружения и определения параметров движения космического мусора в зонах безопасности орбитальных объектов. Ключевые слова: космический аппарат наблюдения, космический мусор, зона безопасности, орбитальный объект, вероятность, математическое ожидание, дискретная цепь Маркова, вероятность перехода, матрица, граф.

22.06-01.286 Оценка эффективности наземной тепловизионной аппаратуры при обнаружении искусственных спутников Земли. *Овсянников В.А., Овсянников Я.В. Авиакосмическое приборостроение. 2022, № 11, с. 3-11. Рус.*

Предложена инженерная модель для прогнозирования температуры оболочки искусственных спутников Земли, и выполнены численные оценки этой температуры. Разработана методика оперативной оценки отношения сигнал/шум для тепловизионной аппаратуры наземного и космического базирования, работающей в диапазонах спектра 3—5 или 8—12 мкм, использующей современные квантовые матричные фотоприемники и служащей для всесуточного обнаружения, в том числе автоматического, в режиме реального времени, орбитальных космических объектов, в особенности находящихся в тени Земли и, следовательно, недоступных для обнаружения в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра. Методика учитывает пороговую чувствительность аппаратуры, определяемую внешним фотонным шумом, вызванным излучением атмосферы и объектива аппаратуры, внутренним темновым шумом, шумом считывания и пространственным шумом, обусловленным неоднородностью чувствительности элементов использу-

емого фотоприемника, и связывает простым соотношением, с использованием результатов выполненных расчетов, температуру и диаметр сферической оболочки спутника, дистанцию до него и диаметр объектива аппаратуры с выходным отношением сигнал/шум. Полученные в статье результаты обосновывают обоснование требований к основным техническим параметрам перспективной тепловизионной аппаратуры, предназначенной для обнаружения космических объектов, а также прогнозирование эффективности уже существующих образцов этой аппаратуры. Ключевые слова: тепловизионная аппаратура, искусственный спутник Земли, обнаружение космических объектов.

22.06-01.287 Двухканальный оптимальный дискретный закон управления космического аппарата с аэродинамической и инерционной асимметрией при спуске в атмосфере Марса. *Любимов В.В., Бакри И. Вестник Самарского ун-та. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2022, 21, № 3, с. 36-46. Рус.*

Рассматривается динамическая модель, описывающая возмущенное движение космического аппарата относительно центра масс в разреженной атмосфере Марса как твердого тела при наличии на борту малой аэродинамической и инерционной асимметрии. Получены дискретные оптимальные законы управления углом атаки и угловой скоростью космического аппарата. При этом применяется метод динамического программирования и метод усреднения. Дискретные системы уравнений, рассматриваемые в работе, были решены с помощью метода Z-преобразования. Достоверность полученных законов управления подтверждена результатами численного интегрирования методом Эйлера.

22.06-01.288 Формирование вращающейся кольцеобразной тросовой группировки из трёх наноспутников с ограничением на управление. *Шумин Ч., Заболотнов Ю.М. Вестник Самарского ун-та. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2022, 21, № 3, с. 69-84. Рус.*

Рассматривается задача формирования кольцеобразной вращающейся тросовой группировки, состоящей из трёх наноспутников. Для анализа динамики тросовой системы используется математическая модель, построенная в подвижной орбитальной системе координат методом Лагранжа. С применением метода скользящих режимов предложены две программы управления для развёртывания тросов, в которых в качестве управлений используются силы натяжения тросов и реактивные силы, создаваемые двигателями малой тяги. В первой программе управляющие воздействия непосредственно ограничены допустимыми пределами изменения сил натяжения тросов и реактивных сил, а при построении второй программы в систему управления вводится вспомогательная динамическая система, которая вводит поправки к управлению, учитывающие эффект насыщения. Устойчивость движения тросовой группировки для обеих программ управления исследуется с использованием теории Ляпунова. Приводятся результаты численных расчётов, подтверждающие возможность использования предлагаемых программ управления для формирования тросовой группировки в виде вращающегося правильного треугольника при наличии возмущений и с учётом заданных ограничений.

22.06-01.289 Математическое моделирование физического механизма генерации волнового потока на фотосферном уровне на различных стадиях цикла солнечной активности. *Степанов Е.А., Майоров А.О., Романов К.В., Романов Д.В., Романов В.А. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2022, 22, № 2, с. 100-110. Рус.*

Исследуется нелинейная фаза развития неустойчивости Паркера крупномасштабных колебаний магнитных полей на различных глубинах конвективной зоны Солнца вплоть до стадии насыщения. Расчетным путем обнаружена реализация квазилинейных колебаний всплывающих магнитных полей вблизи фотосферного уровня, генерирующих устойчивый поток слабых ударных волн в нижних слоях атмосферы Солнца. Показано, что развитие неустойчивости Паркера в низкочастотной части спектра глобальных колебаний магнитных полей обеспечивает стабильную, сферически симметричную структуру ано-

мального прогрева атмосферы в эпоху минимума цикла солнечной активности. С увеличением частоты глобальных осцилляций магнитных полей на стадии роста активности цикла структура аномального прогрева становится пространственно неоднородной — лучевой. Число лучей аномального прогрева со временем развития цикла активности растет и в эпоху максимума активности переходит в пространственно однородную структуру аномального прогрева атмосферы в согласии с наблюдательными данными.

22.06-01.290 Гравитационная неустойчивость газопылевых околядерных дисков близких галактик. *Ткаченко Р.В., Корчагин В.И., Жмайлов Б.Б. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. 2022. 9, № 3, с. 561-571. Рус.*

С помощью двумерного многокомпонентного гидродинамического моделирования мы изучаем влияние пыли на развитие неустойчивости в газопылевых минидисках, наблюдаемых в центральных областях галактик, в частности в галактике NGC 4736. Пыль, связанная с газом гравитационно и посредством силы трения, зависящей от разности скоростей между двумя компонентами, приводит к неустойчивости минидиска, находящегося во внешнем потенциале галактики. В модели оказывается возможным объяснить развитие неустойчивости и появление спиральных структур, наблюдаемых в дисках. Возникающие спиральные структуры оказываются многорукавными, что связано с доминированием Фурье-амплитуд высоких порядков. Неустойчивость газопылевых околядерных дисков является важным механизмом для объяснения активности галактических ядер, связанной с аккрецией вещества на центральную черную дыру. Моделирование показало, что добавление пыли к газовой компоненте с отношением пыли к газу в 10-20 % способно существенно дестабилизировать газопылевую диск, в результате чего уже через 50-100 млн лет наступает стадия насыщения.

22.06-01.291 Кремниевые аналоги L-аминокислот: свойства "кирпичиков" чужой биосферы. *Кондратьев М.С., Щербатов К.А., Самченко А.А., Дегтярева О.В., Терпугов Е.Л., Хечинашвили Н.Н., Комаров В.М. Биофизика. 2022. 67, № 2, с. 213-221. Рус.*

DOI: 10.31857/S0006302922020016.

22.06-01.292 Эффективная площадь радиотелескопа РТ-22 Пуцдинской радиоастрономической обсерватории. Текущее состояние. *Шарилова Л.М. Кратк. сообр. по физ. ФИАН. 2022. 49, № 12, с. 56-62. Рус.*

Наблюдаемая переменность радиоисточников на высоких (>20 ГГц) частотах позволяет оценить как характеристики межзвездной плазмы, так и физические условия в активных ядрах галактик (АЯГ). На радиотелескопе РТ-22 Пуцдинской радиоастрономической обсерватории (ПРАО) проведены работы по оценке возможности исследования переменности компактных радиоисточников на имеющейся аппаратуре РТ-22. С этой целью проведены расчеты эффективной площади ($A_{эфф.}$) РТ-22 на частоте 22 ГГц (1.35 см) на основе долговременных наблюдений трех калибровочных радиоисточников DR21, 3C123, NGC7027, а также оценена флуктуационная чувствительность радиотелескопа.

22.06-01.293 Исследование динамики области орбитальных резонансов высоких порядков. *Блинкова Е.В., Бордовицына Т.В. Вестн Том. гос. ун-та. Математика и механика. 20221, № 79, с. 58-68. Рус.*

DOI: 10.17223/19988621/79/5 Рассматриваются области орбитальных резонансов 1:5, 1:7, 1:9, 1:10 и 1:11 со скоростью вращения Земли. Моделирование движения объектов осуществляется с помощью усовершенствованного программного комплекса «Численная модель движения систем ИСЗ» на кластере «СКИФ Cyberia» Национального исследовательского Томского государственного университета. В процессе моделирования учитываются влияние гармоник геопотенциала до 10-х степени и порядка, притяжение Луны и Солнца. В результате получены карты распределения мультиплетов орбитальных резонансов и карты MEGNO для каждой области. Сравнение полученных карт говорит о том, что хаотизация движения объектов происходит в областях наложения резонансов различных типов.

22.06-01.294 Анализ разрушения и фрагментации космических аппаратов при высокоскоростных столкновениях. *Смирнов Н.Н., Киселев А.Б., Тюрченко В.В., Назаренко А.И., Усовик И.В. Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020, № 9-10(147-148), с. 22-31. Рус.*

Из-за деятельности человека в космосе появилась новая проблема — космический мусор, образованный ступенями ракет, изменившими свою орбиту спутниками и другими неуправляемыми космическими объектами. Уже сейчас космический мусор представляет значительную угрозу для космических полетов и долгосрочных орбитальных миссий. Поэтому на сегодняшний день защита космических аппаратов от возможного столкновения с фрагментами космического мусора является актуальной задачей. Например, защита от крупных фрагментов космического мусора на международной космической станции происходит путем коррекции ее орбиты. Такая стратегия защиты требует разработки эффективной модели прогнозирования и анализа движения космического мусора с учетом взаимных столкновений космических объектов различных размеров. Данная статья посвящена созданию математической модели, описывающей соударение и разрушение космических объектов при их высокоскоростном соударении.

22.06-01.295 Модель системы распознавания космических объектов с учетом новых информативных признаков, выявленных на основе спектродометрии. *Федоренко Д.С. Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021, № 1-2(151-152), с. 32-39. Рус.*

Предложена модель системы распознавания космических объектов, которая, в отличие от существующих, позволяет формировать спектры отражения космических объектов и с их учетом осуществлять определение типа космических объектов. Формирование спектров отражения производится по линейному закону на основе смешивания лабораторных спектров отражения материалов и покрытий, что позволяет воспроизводить спектральное распределение отраженного от искусственного спутника Земли потока оптического излучения в видимом диапазоне. Обоснована невозможность существующих в настоящее время наземных наблюдательных средств обеспечить разрешающую способность, требуемую для отдельного наблюдения отдельных конструктивных элементов искусственного спутника Земли, что и определяет необходимость изучения и анализа спектродометрической информации, а именно спектров отражения. Модель строится на том предположении, что если отражающая в момент наблюдения поверхность искусственного спутника Земли делится пропорционально в соответствии с долями содержания материалов и покрытий, из которых она состоит, то отраженное излучение передает спектральные характеристики этих материалов в тех же пропорциях.

22.06-01.296 Методика обоснования баллистического построения орбитальной системы космических аппаратов мониторинга гравитационного поля Земли. *Котляшов Е.В., Чернявский В.А., Хлебников С.Г. Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022, № 1-2(163-164), с. 1-11. Рус.*

Целесообразность создания перспективной глобальной системы мониторинга геодезических параметров Земли (ГСМГПЗ) обусловливается как необходимостью устранения имеющихся недостатков, в том числе в системах координат, их перевода в ближайшие годы на новые точностные характеристики, в несколько раз превышающие достигнутый уровень, так и необходимостью обеспечения в геодезическом отношении целого ряда новых перспективных направлений использования системы ГЛОНАСС. В настоящей статье для решения задач мониторинга её гравитационного поля, предлагается методика обоснования баллистического построения орбитальной системы космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, учитывающая особенности функционирования бортовой измерительной аппаратуры разных типов и возможности по передаче измерительной информации на наземные пункты.

22.06-01.297 Биноккулярные лупы на основе теле-

скопической системы Галилея. *Бездидько С.Н., Мишин С.В., Можаров Г.А. Оптический журнал.* 2021. 88, № 11, с. 30-45. Рус.

DOI:10.17586/1023-5086-2021-88-11-36-45 Представлено исследование актуальности разработки медицинских бинокулярных луп на основе телескопических систем Галилея и Кеплера в наши дни. В статье рассмотрены краткая история развития и современные аспекты применения бинокулярных луп в медицине. Определены основные требования, предъявляемые к бинокулярным лупам медицинскими работниками. Сформулированы основные этапы разработки оптических схем бинокулярных луп. Приведены оптические схемы и характеристики конкретных вариантов бинокулярных луп на основе телескопической системы Галилея, предлагаемых для практической реализации.

22.06-01.298 Проблемы юстировки объектива-анастigmата из трех внеосевых асферических зеркал. *Егоров М.С., Лебедев О.А., Резунков Ю.А., Солж С.В., Степанов В.В. Оптический журнал.* 2022. 89, № 5, с. 41-53. Рус.

В настоящее время ведутся разработки объективов для малых космических аппаратов в широком диапазоне от видимого до среднего инфракрасного диапазона излучения. Для космических применений наиболее универсальными являются зеркальные объективы благодаря таким преимуществам, как работа в широком спектральном диапазоне, применение технологий изготовления облегченных зеркал и уменьшения габаритов объектива. Предметом данного исследования является юстировка зеркальных объективов с внеосевыми асферическими зеркалами (объективов с эксцентрично расположенным полем зрения). Традиционно для юстировки зеркальных объективов используются интерферометры в автоколлимационном режиме. В этом случае контроль юстировки осуществляется с использованием компенсационных схем. Однако для многозеркальных компактных объективов далеко не всегда можно найти место для размещения оборудования (интерферометра со вспомогательным зеркалом или голограммы-компенсатора), используемого для юстировки. Метод. Исследована альтернативная методика последовательной поэлементной юстировки макета многозеркального объектива, основанная на контроле формы фокальных пятен и сравнении их с расчетной формой. Исследовалась юстировка четырехзеркального объектива-анастigmата, первое зеркало которого представляет собой внеосевой вогнутый эллипс, второе зеркало — внеосевая выпуклая гипербола, третье зеркало плоское, четвертое зеркало представляет собой внеосевой вогнутый эллипс. Для юстировки объектива использовалось излучение He-Ne лазеров (длина волны 0,63 мкм) с регистрацией распределения фокального пятна рассеяния телевизионной камерой, для контроля юстировки — излучения непрерывного перестраиваемого СО-лазера (длина волны излучения 5,415 мкм) и HF-лазера (длина волны излучения 2,8 — 3,2 мкм) с регистрацией распределений фокальных пятен на матричное фотоприемное устройство на основе InSb. Контроль осуществлялся с помощью микроскопа, предметная плоскость которого совмещалась с фокальной плоскостью юстируемого элемента. При этом входная апертура объектива освещалась коллимированным лазерным пучком параллельно визирной оси. Качество юстировки оценивалось из сравнения формы наблюдаемых фокальных пятен с рассчитанными теоретически для идеально съюстированного объектива. Основные результаты. Результаты проведенных исследований показали, что опробованная методика юстировки на основе контроля формы фокальных пятен не обладает необходимой чувствительностью к разъюстировкам как отдельных зеркал, так и рассеяния системы из нескольких зеркал. Более того, метод не обеспечивает требуемую точность юстировки. Практическая значимость. В дальнейшем предполагается развитие предложенной методики в направлении создания специальной оптико-электронной аппаратуры, позволяющей проводить постоянный и последовательный контроль всех оптических элементов четырехзеркального анастigmата с необходимой для юстировки точностью.

22.06-01.299 Стойкость уголкового отражателя с диэлектрическим просветляющим покрытием к действию факторов космического пространства. *Ненадо-*

вич В.Д., Соколов А.Л. Оптический журнал. 2022. 89, № 7, с. 37-44. Рус.

Предмет исследования. Негативное воздействие корпускулярных излучений космического пространства на оптические свойства уголкового отражателя с многослойным диэлектрическим покрытием. Цель работы. Изучение целесообразности нанесения двуслойного просветляющего диэлектрического покрытия для излучения с длиной волны 532 нм на входную грань уголкового отражателя, эксплуатируемого в условиях высокоорбитальных космических аппаратов. Метод исследования. Проведены электронно-протонные облучения, имитирующие воздействие горячей магнитосферной плазмы на угольковые отражатели с просветляющими покрытиями и без таковых, на моделирующей установке. Так как уголкового отражателя изготовлен из радиационно-стойкого кварцевого стекла КУ-1, особое внимание уделено развитию электростатических разрядов, сопровождавших облучение образцов. Основные результаты. Показано, что наведенная оптическая плотность покрытия входной грани угольковых отражателей, обусловленная воздействием частиц магнитосферной плазмы, возрастает с расстоянием от геометрического центра апертуры входной грани к металлической оправе. Это объясняется тем, что в окрестности оправы наблюдались максимальные по интенсивности разряды, приводящие к деструкции приповерхностных слоев облучаемых образцов. Экспериментально установлено, что просветляющий эффект двуслойного покрытия, состоящего из диоксидов гафния (HfO_2 , толщина около 25 нм) и кремния (SiO_2 , толщина около 100 нм), с ростом дозы облучения нивелируется. Практическая значимость. Представленные результаты показывают, что исследованное просветляющее двуслойное покрытие целесообразно использовать на оптических системах высокоорбитальных космических аппаратов со сроком активного существования не более 6 лет либо в условиях с меньшей дозовой нагрузкой.

22.06-01.300 Оптический спектрограф для спектромагнитографа космического базирования «Тахомаг-МКС». *Кожеватов И.Е., Руденчик Е.А., Силин Д.Е., Стукачев С.Е., Куликова Е.Х. Оптический журнал.* 2022. 89, № 7, с. 59-71. Рус.

Предмет исследования. оптический спектрограф, разработанный для солнечного спектромагнитографа космического базирования «Тахомаг-МКС». Статья является второй из серии статей, посвященных разработке этого прибора, планируемого к размещению на российском сегменте Международной космической станции. В первой из статей серии, опубликованной в этом же журнале, представлено описание солнечного оптического телескопа, являющегося составной частью прибора. Цель работы заключалась в разработке оптического спектрографа для спектромагнитографа «Тахомаг-МКС», который бы обладал необходимыми характеристиками для измерения эффекта Зеемана в выбранных спектральных линиях при значениях магнитных полей, характерных для солнечной фотосферы. Метод. Схема спектрографа «Тахомаг-МКС» является классическим вариантом линзовой внеосевой схемы спектрографа Литтрова. В качестве рабочих спектральных линий были выбраны FeI 6301,5 Å и FeI 6302,5 Å. Использование линзового варианта схемы спектрографа позволило выполнить требования по ограничениям на его габариты без применения оптических элементов с асферической формой поверхности. Основные результаты. Показано, что, несмотря на жесткие ограничения по массе и габаритам, связанные с условиями эксплуатации, спектрограф обеспечивает построение практически безаберрационных изображений (параметр Маршала лучше 1/20) спектра солнечной фотосферы с угловым разрешением 0,351 по критерию Рэлея, соответствующим угловому разрешению солнечного оптического телескопа спектромагнитографа «Тахомаг-МКС», со спектральным диапазоном 2,52 Å и спектральным разрешением около 30 м~0Å. Это меньше, чем ширина используемых спектральных линий, которая составляет от 42,4 м Å в сильных пятнах до 49,1 м Å в спокойной фотосфере и обусловлена хаотическими движениями атомов вдоль луча зрения и неразрешаемой структурой микротурбулентных скоростей. Практическая значимость. Разработка спектромагнитографа «Тахомаг-МКС» поможет в решении актуальных задач физики Солнца и физики плазмы и создаст задел для подготовки к более слож-

ным миссиям, связанным с исследованиями Солнца с близких расстояний.

22.06-01.301 Новые возможности лазерно-голографического контроля процессов сборки и юстировки крупноформатных составных зеркал телескопов. *Лукин А.В., Мельников А.Н., Скоцилов А.Ф. Оптический журнал.* 2022. 89, № 10, с. 80-94. Рус.

Предмет исследования. Предложены новые оригинальные варианты осуществления интерферометрического контроля крупноформатных асферических составных главных зеркал телескопов на всех этапах их создания (сборка, юстировка и аттестация). Цель работы — представление и обоснование новых технических решений интерферометрического контроля формы поверхности крупноформатных вогнутых асферических составных главных зеркал телескопов. Метод. В основу всех предложенных контрольных схем положено использование отражательного голограммного оптического элемента или зеркальной выпуклой асферической поверхности вращения. Реализуется квазиавтокollимационный ход лучей, при котором оптический компенсатор осуществляет обращение фронта объектной волны, причём здесь он не принимает непосредственного участия в формировании изображения контролируемой поверхности в плоскости регистраций интерференционных и теневых картин, в которых тем самым исключаются значительные дисторсионные искажения. Основные результаты. Представлены расчётные значения основных параметров квазиавтокollимационных схем контроля формы вогнутых асферических составных главных зеркал четырёх известных в мире телескопов: «Миллиметр» — диаметр 10 м, «James Webb Space Telescope» — диаметр 6,5 м, «Extremely Large Telescope» (ELT) — диаметр 39,3 м, а также отложенного проекта Европейской южной обсерватории «Overwhelmingly Large Telescope» (OLT) — диаметр 100 м. Показано, что использование в объектной ветви интерферометра «цепочки» (каскада) таких соосных оптических компенсаторов практически полностью снимает ограничения на размер, асферичность и крутизну асферических составных главных зеркал телескопов. При этом придание рабочей поверхности подложки голограммного компенсатора конической формы позволяет существенно снизить его максимальную пространственную частоту. Расчёты выполнены на основе использования пакетов прикладных программ «Mathcad» и «Zemax». На начальных этапах сборки асферических составных главных зеркал предложено использовать традиционные лазерно-голографические контрольные схемы с неавтоколлимационным ходом лучей в объектной ветви и без обращения волнового фронта в ней. Здесь можно воспользоваться и методами лазерно-голографического «оконтуривания». Практическая значимость. Предложенные в данной работе новые оригинальные идеи, методы и схемные технические решения на основе обращения волнового фронта, осуществляемого отражательным оптическим компенсатором, а также цепочкой (каскадом) таких компенсаторов, открывают реальную возможность оперативного технологического и аттестационного контроля с интерферометрической точностью формы асферических составных главных зеркал любого из известных проектируемых и создаваемых в настоящее время оптических телескопов как наземного, так и космического базирования. В частности, имеется реальная возможность обеспечить полномасштабный интерферометрический контроль формы первоначально задуманного академиком Н.С. Кардашевым асферического составного главного зеркала «Миллиметр» диаметром 12 м. Однако особую значимость, безусловно, имеет реализация этих возможностей в условиях космического базирования телескопа.

22.06-01.302 О возможности возбуждения дрейфовой неустойчивости в областях лунных магнитных аномалий. *Извекова Ю.Н., Попель С.И. Физика плазмы.* 2022. 48, № 11, с. 1061-1065. Рус.

Околосолнечная среда представляет собой пылевую плазму, состоящую из мелких частиц лунного реголита, фотоэлектронов, электронов и ионов солнечного ветра. При движении вокруг Земли часть траектории Луна проходит через магнитосферу Земли. Кроме того, для некоторых областей на Луне, так называемых, лунных магнитных аномалий, характерно наличие

магнитного поля. Значения магнитных полей над этими участками могут превышать значения магнитного поля магнитосферы Земли в районе траектории Луны на один-два порядка. Наличие магнитного поля наряду с градиентами концентрации фотоэлектронов может приводить к развитию дрейфовой турбулентности. Условия, приводящие к этому, обсуждаются в данной статье.

22.06-01.303 Исследование зарядки пылевых частиц космической плазмы. *Машеева Р.У., Джумагулова К.Н., Мырзали М. Физика плазмы.* 2022. 48, № 11, с. 1066-1074. Рус.

Исследован процесс зарядки пылевых частиц, находящихся в неравновесной космической плазме, в приближении ограниченного орбитального движения (orbit motion limited — OML). Исследование процесса зарядки пылевых частиц было проведено с учетом различных механизмов для широкого диапазона параметров космической плазмы. Получены выражения для потоков ионов и электронов в условиях немаксвелловского распределения частиц плазмы. Показано, что при малых энергиях частиц эти формулы переходят в выражения, полученные на основе максвелловского распределения. При балансе потоков ионов и электронов на поверхность пылевых частиц получены зависимости приведенного заряда от отношения температур и соотношения масс электронов и ионов. Также была получена и построена зависимость приведенного заряда от времени зарядки. Характерное время зарядки пылевых частиц в случае неравновесного κ -распределения увеличивается по сравнению с характерным временем зарядки частиц для максвелловского распределения.

22.06-01.304 О массовой функции на внутреннем горизонте регулярной черной дыры. *Иофа М.З. Ж. эксперим. и теор. физ.* 2022. 162, № 5, с. 663-672. Рус.

Пересмотрены и заново проведены расчеты внутренней массовой функции регулярной черной дыры Хейворда с потоками. Представлены подробные расчеты внутренней массовой функции в двух формах подхода Ори (входящий поток непрерывен, исходящий поток моделируется тонкой нулевой оболочкой) и проведено их сравнение с расчетами для черной дыры Рейснера—Нордстрема. Обсуждается формальная причина различия результатов. Вычислена плотность энергии скалярных возмущений, распространяющихся от горизонта событий в черную дыру Хейворда, измеренная свободно падающим наблюдателем вблизи внутреннего горизонта. DOI: 10.31857/S0044451022110062.

22.06-01.305 Модели динамического равновесия астрофизических объектов. *Журавлев В.М. Ж. эксперим. и теор. физ.* 2022. 162, № 6, с. 850-877. Рус.

Выведены уравнения динамического равновесия адиабатически и политропно расширяющегося или сжимающегося газового потока с радиальной и зональной составляющей скорости, которые представляют собой глубокую автомоделную модификацию уравнений теории Лейна—Эмдена звездных политроп. Проведена классификация моделей по параметру динамического равновесия. Установлена важная роль зонального потока в установлении динамического равновесия, определяющего структуру и эволюцию звезд. На основе полученных уравнений развита новая нелинейная теория звездных пульсаций и для них построено соотношение период-светимость. Для Солнца теория дает объяснение 11-летнего цикла активности, как радиально-зональных пульсаций его структуры, находящейся в динамическом равновесии. Представлен численный анализ распределений температуры и плотности в звездах в сопоставлении с данными о Солнце. В рамках этих моделей предложено объяснение максимума температуры в короне Солнца как элемента динамически равновесной структуры звезды DOI: 10.31857/S0044451022120069.

22.06-01.306 Тени черных дыр как источник ограничений на расширенные теории гравитации 2: Sgr A*. *Прокопов В.А., Алексеев С.О., Зенин О.И. Ж. эксперим. и теор. физ.* 2022. 162, № 6, с. 878-880. Рус.

Почти сразу после опубликования [ЖЭТФ. 2022 т. 101. с. 108] проектом Event Horizon Telescope (EHT) было получено первое прямое изображение черной дыры в центре на-

шей галактики: Sagittarius A* [The Event Horizon Telescope Collaboration, *Astrophys. J. Letters* 930 L17 (2022)]. Полученные ранее [ЖЭТФ. 2022 т. 101. с. 108] результаты для модели Хорндески с инвариантом Гаусса—Бонне, петлевой квантовой гравитации, скалярных моделей Бамбелби, Гаусса—Бонне и конформной гравитации полностью согласуются с наблюдениями Sgr A*. В $f(Q)$ гравитации наблюдения Sgr A* дополнительно ограничивают значения параметра α : $-0,025 < \alpha < 0,005$. Для альтернативного обобщения метрики Бамбелби с приближением Шварцшильда ограничение становится следующим: $-0,05 < l < 0,45$. Полученные ограничения демонстрируют тот максимум, которого можно достичь без учета вращения черной дыры. DOI: 10.31857/S0044451022120070.

22.06-01.307 Резонансное взаимодействие энергичных электронов с радиоизлучением в магнитосферах экзопланет. Грач В.С., Демехов А.Г. *Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника*. 2022. 65, № 4, с. 249-268. Рус.

Анализируется резонансное взаимодействие энергичных электронов с радиоизлучением в магнитосферах экзопланет на примере планеты Tau Bootis b. Рассмотрены условия этого взаимодействия и его влияние на параметры электронов, определяющие радиоизлучение, которое может быть детектировано на Земле. Исследованы особенности такого взаимодействия по сравнению с взаимодействием энергичных электронов с авроральным километровым радиоизлучением в магнитосфере Земли. Показано, что при рассматриваемых параметрах магнитосферы Tau Bootis b и радиоизлучения в ней резонансное взаимодействие электронов с радиоизлучением является существенно нелинейным. При конечной длительности волнового пакета взаимодействие может приводить к существенному ускорению

частиц в широком диапазоне энергий (от десятков до сотен килоэлектронвольт).

22.06-01.308 Анализ технического облика безгенераторной кислородно-водородной жидкостной ракетной двигательной установки межорбитального транспортного аппарата многократного использования, выводящего полезный груз на окололунную орбиту. Боровик И.Н., Астахов С.А., Мукамбетов Р.Я. *Вестник Московского авиац. ин-та*. 2022. 29, № 3, с. 122-135. Рус.

Приведена концепция определения оптимального технического облика безгенераторной жидкостной ракетной двигательной установки (ЖРДУ) с помощью математического моделирования ее основных проектных параметров (ОПП) и оптимизации их по критериям системы более высокого уровня, а именно межорбитального транспортного аппарата многократного использования (МТА МИ). С помощью ранее разработанной модели проведен расчет двух вариантов оптимальных ЖРДУ МТА МИ для конкретной задачи — выведения полезного груза массой 16500 кг на окололунную орбиту. Показано, что даже с менее эффективными агрегатами ЖРДУ возможно получить технический облик оптимальный для данного МТА МИ по критериям минимальной удельной стоимости выведения и заданной массы полезного груза. Приведено сравнение различных вариантов ЖРДУ, оптимизированных по ОПП. Данное сравнение показало, что оптимизация ЖРДУ по ОПП существенно увеличивает эффективность как самой двигательной установки, так и всего МТА МИ в целом.

См. также **22.06-01.13, 22.06-01.14, 22.06-01.16, 22.06-01.33, 22.06-01.120, 22.06-01.268, 22.06-01.269, 22.06-01.270, 22.06-01.271, 22.06-01.273, 22.06-01.274**

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Ahmed F. 22.06-01.273
Assier R.C. 22.06-01.21

А

Абалакин И.В. 22.06-01.22,
22.06-01.146
Абдрашитов Р.Г. 22.06-01.147
Абрамов В.С. 22.06-01.107
Абрамович Г.Н. 22.06-01.10К,
22.06-01.11К
Аверин С.В. 22.06-01.67
Агаян Г.М. 22.06-01.242
Акинъшин Р.В. 22.06-01.148
Аксенов А.А. 22.06-01.149,
22.06-01.150, 22.06-01.151,
22.06-01.223
Александров А.В. 22.06-01.152
Александров В.Г. 22.06-01.29,
22.06-01.108, 22.06-01.109,
22.06-01.201
Александров М.А. 22.06-01.285
Алексеев С.О. 22.06-01.306
Алсовэйди А.К.М. 22.06-01.72
Аникеева М.И. 22.06-01.153
Арефьев К.Ю. 22.06-01.119
Аржанников А.А. 22.06-01.275
Арсентьев И.В. 22.06-01.139,
22.06-01.140
Астахов С.А. 22.06-01.308
Ахмедзянов А.М. 22.06-01.267
Аюпов Р.Ш. 22.06-01.124,
22.06-01.129

Б

Бабич Е.В. 22.06-01.154,
22.06-01.181
Бабулин А.А. 22.06-01.151
Базулин Е.Г. 22.06-01.237
Байгозин Д.А. 22.06-01.283
Бакри И. 22.06-01.287
Балакирева Н.В. 22.06-01.155
Бальшева О.Л. 22.06-01.65
Барышева Д.В. 22.06-01.156
Батраков А.С. 22.06-01.157
Батурин О.В. 22.06-01.42
Батурин Ю.М. 22.06-01.283
Батченко В.С. 22.06-01.16
Бахвалов П.А. 22.06-01.22
Бахметьев А.С. 22.06-01.263
Бахнэ С. 22.06-01.158, 22.06-01.159
Башкатов В.В. 22.06-01.182
Безгин Л.В. 22.06-01.132,
22.06-01.133, 22.06-01.134
Бездидько С.Н. 22.06-01.297
Безменов И.В. 22.06-01.276
Белова В.Г. 22.06-01.101,
22.06-01.118, 22.06-01.120
Беляев И.В. 22.06-01.235
Бендерский Л.А. 22.06-01.93,
22.06-01.119, 22.06-01.122,
22.06-01.123, 22.06-01.124,
22.06-01.125, 22.06-01.126,
22.06-01.127, 22.06-01.128,
22.06-01.129, 22.06-01.225
Беркутов Р.Н. 22.06-01.17
Бирюков И.Р. 22.06-01.87
Блинкова Е.В. 22.06-01.293
Бобков В.Г. 22.06-01.146,
22.06-01.160, 22.06-01.161,

22.06-01.162

Бобу Ю.Э. 22.06-01.51
Болсуновский А.Л. 22.06-01.141,
22.06-01.163
Бондарчук А.А. 22.06-01.221
Бордовицына Т.В. 22.06-01.293
Борисов А.В. 22.06-01.68
Боритко С.В. 22.06-01.71
Боровик И.Н. 22.06-01.308
Боровиков А.Д. 22.06-01.102
Бородин В.И. 22.06-01.30
Бородина И.А. 22.06-01.72,
22.06-01.73
Босняков С.М. 22.06-01.164,
22.06-01.250
Брагин Н.Н. 22.06-01.163
Брилёнок Н.Б. 22.06-01.263
Бубенчиков А.М. 22.06-01.30
Бубенчиков М.А. 22.06-01.30
Бузуверя Н.П. 22.06-01.163
Булатова З.А. 22.06-01.23
Бурдуковская В.Г. 22.06-01.78
Буркин В.В. 22.06-01.256
Бутаков О.Б.. 22.06-01.43
Бышевский-Конопко О.А. 22.06-01.70

В

Вагин А.В. 22.06-01.258
Валиев Х.Ф. 22.06-01.19,
22.06-01.107
Ванг Д.Т. 22.06-01.261
Васильев О.В. 22.06-01.165,
22.06-01.166
Васильюк Н.Н. 22.06-01.284
Васкецов И.А. 22.06-01.167
Векшин Ю.В. 22.06-01.277
Вендик И.Б. 22.06-01.25
Верещагин К.А. 22.06-01.136
Вершков В.А. 22.06-01.160
Вешкин Е.А. 22.06-01.252
Вилков Е.А. 22.06-01.70
Виноградов В.А. 22.06-01.100,
22.06-01.101, 22.06-01.102,
22.06-01.105, 22.06-01.115
Вишняков А.Н. 22.06-01.168
Власов В.С. 22.06-01.210,
22.06-01.211, 22.06-01.212
Власов Р.П. 22.06-01.285
Вовк М.Ю. 22.06-01.145
Воеводин В.В. 22.06-01.241,
22.06-01.242
Войтишина М.С. 22.06-01.224
Волков А.В. 22.06-01.159
Волков В.Ф. 22.06-01.91
Волков К.Н. 22.06-01.27, 22.06-01.28,
22.06-01.95, 22.06-01.213
Волков С.Ю. 22.06-01.136
Волкова А.А. 22.06-01.80
Воробьев А.К. 22.06-01.194
Воробьев С.В. 22.06-01.104
Воронков А.А. 22.06-01.168
Воронцов В.И. 22.06-01.148
Воротников Г.В. 22.06-01.75
Ворошнин Д.В. 22.06-01.227,
22.06-01.228, 22.06-01.229,
22.06-01.230
Вытнов А.В. 22.06-01.279

Г

Гадьльшин К.Г. 22.06-01.217
Гаязов И.С. 22.06-01.282

Гебель М. 22.06-01.283
Гешеле В.Д. 22.06-01.62
Гималтдинов И.К. 22.06-01.53
Глотов В.Д. 22.06-01.275
Голенцов Д.А. 22.06-01.121
Голиков И.О. 22.06-01.47
Головизнин В.М. 22.06-01.46
Голубин Р.В. 22.06-01.272
Голубинская А.В. 22.06-01.272
Гончаренко Б.И. 22.06-01.76
Гончарский А.В. 22.06-01.239,
22.06-01.240, 22.06-01.243
Горелов С.Л. 22.06-01.215
Горобец А.В. 22.06-01.22,
22.06-01.169, 22.06-01.228,
22.06-01.229
Горячкин Е.С. 22.06-01.42
Грач В.С. 22.06-01.307
Гренков С.А. 22.06-01.278
Григорьев А.И. 22.06-01.63
Григорьева М.С. 22.06-01.161
Громыко Ю.В. 22.06-01.48
Гулидов Д.А. 22.06-01.281
Гулий О.И. 22.06-01.72
Гулин А.Г. 22.06-01.121
Гурбатов С.Н. 22.06-01.171
Гусев В.А. 22.06-01.57
Гусева Е.К. 22.06-01.170

Д

Давидчук В.А. 22.06-01.47
Данилюк Б.А. 22.06-01.285
Дегтярева О.В. 22.06-01.291
Демарева В.А. 22.06-01.272
Дементьев И.И. 22.06-01.234
Демехов А.Г. 22.06-01.307
Демин И.Ю. 22.06-01.171
Демьянов М.А. 22.06-01.98
Денисенко В.В. 22.06-01.172
Денисов В.Е. 22.06-01.84
Денисов С.Л. 22.06-01.173
Держак Н.Д. 22.06-01.50
Дерунов Е.К. 22.06-01.91
Джумагулова К.Н. 22.06-01.303
Добдин С.Ю. 22.06-01.263
Долматов Д.О. 22.06-01.238
Долотовский А.В. 22.06-01.224
Долуденко А.Н. 22.06-01.174
Дородницын Л.В. 22.06-01.152
Дробчик А.Н. 22.06-01.257
Дробыш М.В. 22.06-01.114
Дружинин Я.М. 22.06-01.231
Дубень А.П. 22.06-01.22, 22.06-01.32,
22.06-01.33, 22.06-01.34,
22.06-01.228, 22.06-01.229
Дубинин Е.В. 22.06-01.267
Дубко Е.Б. 22.06-01.176
Дугаров Г.А. 22.06-01.257
Дучков А.А. 22.06-01.257
Дьячковский А.С. 22.06-01.256
Дядькин А.А. 22.06-01.153

Е

Евстигнеев А.А. 22.06-01.208
Егоров И.В. 22.06-01.35
Егоров М.С. 22.06-01.298
Егоров О.В. 22.06-01.103
Егорова А.А. 22.06-01.247
Егорян А.Д. 22.06-01.107,
22.06-01.113, 22.06-01.116
Еделева Ю.А. 22.06-01.272

Елизарова Т.Г. 22.06-01.179
 Елюхина И.В. 22.06-01.245
 Емельянов В.А. 22.06-01.264
 Емельянов В.Н. 22.06-01.27,
 22.06-01.28, 22.06-01.95,
 22.06-01.213
 Епихин А.С. 22.06-01.179
 Еремеев В.О. 22.06-01.155
 Ермошин Н.И. 22.06-01.238
 Ефремов Н.Л. 22.06-01.89

Ж

Жаворонкин А.О. 22.06-01.175
 Жаворонкова А.Д. 22.06-01.83
 Жарков Д.А. 22.06-01.57
 Жгун С.А. 22.06-01.204,
 22.06-01.207
 Жданова Н.С. 22.06-01.162,
 22.06-01.166
 Жданок С.А. 22.06-01.264
 Желтова Е.Л. 22.06-01.14
 Жикин А.А. 22.06-01.218
 Жилейкин Я.М. 22.06-01.52
 Жлуктов С.В. 22.06-01.151
 Жмайлов Б.Б. 22.06-01.290
 Жуков В.Т. 22.06-01.36
 Журавлев В.М. 22.06-01.305

З

Заболотнов Ю.М. 22.06-01.288
 Загитов Р.А. 22.06-01.227,
 22.06-01.229, 22.06-01.230
 Зайцев Б.Д. 22.06-01.72, 22.06-01.73
 Зайцев М.Ю. 22.06-01.37,
 22.06-01.148, 22.06-01.235
 Зайцева С.Г. 22.06-01.155
 Захаренко А.Д. 22.06-01.61
 Захаров В.С. 22.06-01.102
 Захаров Д.Л. 22.06-01.101
 Зенин О.И. 22.06-01.306
 Зиновьев В.Н. 22.06-01.59
 Зиновьев Е.А. 22.06-01.75
 Зиновьев П.В. 22.06-01.279
 Зубанов В.М. 22.06-01.42

И

Иванилова П.В. 22.06-01.215
 Иванов К.П. 22.06-01.244
 Иванов Н.М. 22.06-01.31
 Иванов С.И. 22.06-01.71
 Иванова Е.В. 22.06-01.156,
 22.06-01.168
 Ивкин А.В. 22.06-01.222
 Ивчин В.А. 22.06-01.142
 Игнатенко И.Ю. 22.06-01.276
 Извекова Ю.Н. 22.06-01.302
 Иофа М.З. 22.06-01.304
 Ипатов А.В. 22.06-01.278
 Исаев С.А. 22.06-01.176
 Исаков В.А. 22.06-01.46
 Истягин С.Е. 22.06-01.252
 Ицков А.Г. 22.06-01.85
 Ищенко А.Н. 22.06-01.256

К

Кадочников И.Н. 22.06-01.120,
 22.06-01.139, 22.06-01.140
 Казаков Е.А. 22.06-01.221
 Казаков П.Г. 22.06-01.103,
 22.06-01.104
 Калугин В.Т. 22.06-01.39

Кальтман Т.И. 22.06-01.274
 Калябин Д.В. 22.06-01.70
 Кандауров А.А. 22.06-01.254
 Канев Н.Г. 22.06-01.177
 Каплунов Ю.Д. 22.06-01.64
 Карабасов С.А. 22.06-01.171
 Карабутов А.А. 22.06-01.74,
 22.06-01.216
 Караваева О.А. 22.06-01.72
 Каракулев А.Е. 22.06-01.178
 Карандин А.В. 22.06-01.71
 Карачевцева М.В. 22.06-01.67
 Каримова Г.Р. 22.06-01.24
 Карпенко А.Г. 22.06-01.95,
 22.06-01.213
 Карпичев А.С. 22.06-01.279
 Кен В.О. 22.06-01.277
 Кильпино Е.Ю. 22.06-01.12
 Ким Н.В. 22.06-01.156
 Кирилин С.Г. 22.06-01.252
 Кирюшина М.А. 22.06-01.179
 Киселев А.Б. 22.06-01.294
 Кистенев Ю.В. 22.06-01.68
 Клименко Д.В. 22.06-01.149,
 22.06-01.150, 22.06-01.219
 Клименко С.В. 22.06-01.283
 Клычев Н.А. 22.06-01.180
 Кобцев В.Д. 22.06-01.136,
 22.06-01.137
 Ковалев С.А. 22.06-01.62
 Кожеватов И.Е. 22.06-01.300
 Козлов В.Е. 22.06-01.131,
 22.06-01.138
 Козлова А.А. 22.06-01.62
 Козубская Т.К. 22.06-01.22,
 22.06-01.32, 22.06-01.33,
 22.06-01.34, 22.06-01.146,
 22.06-01.160, 22.06-01.162,
 22.06-01.178, 22.06-01.228,
 22.06-01.229
 Койгеров А.С. 22.06-01.65
 Кокоулина М.В. 22.06-01.55
 Кокошкин А.В. 22.06-01.236
 Колбнева Н.Ю. 22.06-01.63
 Колесник Е.В. 22.06-01.154,
 22.06-01.181
 Колотков Д.Ю. 22.06-01.274
 Кольцов Н.Е. 22.06-01.278
 Комаров В.М. 22.06-01.291
 Компанец И.Н. 22.06-01.15
 Комратов Д.В. 22.06-01.100,
 22.06-01.101, 22.06-01.115,
 22.06-01.118, 22.06-01.120
 Кондаков Е.В. 22.06-01.31
 Кондратов А.В. 22.06-01.219
 Кондратьев М.С. 22.06-01.291
 Консон А.Д. 22.06-01.80
 Копчёнов В.И. 22.06-01.132,
 22.06-01.133, 22.06-01.134
 Кошьев В.А. 22.06-01.37
 Кошьев В.Ф. 22.06-01.96,
 22.06-01.143, 22.06-01.182,
 22.06-01.235
 Корешев С.Н. 22.06-01.271
 Коржнев В.Н. 22.06-01.205
 Корин И.А. 22.06-01.192
 Корольков А.И. 22.06-01.21,
 22.06-01.60
 Коротин П.И. 22.06-01.206
 Корчагин В.И. 22.06-01.290
 Косоногова А.В. 22.06-01.195
 Кострица С.А. 22.06-01.136,
 22.06-01.137
 Косущкин К.Г. 22.06-01.183
 Котов В.М. 22.06-01.67

Котьяшов Е.В. 22.06-01.296
 Крайко А.А. 22.06-01.107,
 22.06-01.116
 Крайко А.Н. 22.06-01.18, 22.06-01.19,
 22.06-01.89, 22.06-01.113
 Краиц В.З. 22.06-01.86
 Красильникова А.А. 22.06-01.247
 Краснов М.М. 22.06-01.226
 Крауклис А.В. 22.06-01.264
 Крашенинников С.Ю. 22.06-01.90,
 22.06-01.106, 22.06-01.225
 Крицкий Б.С. 22.06-01.160,
 22.06-01.183
 Кудашев Е.Б. 22.06-01.97
 Кудрявцев А.Н. 22.06-01.184
 Кудрявцева Л.Н. 22.06-01.162
 Кузнецов А.А. 22.06-01.274
 Кулешов П.С. 22.06-01.120,
 22.06-01.130, 22.06-01.131,
 22.06-01.266
 Куликова Е.Х. 22.06-01.300
 Купер К.Э. 22.06-01.257
 Куприянова Е.Г. 22.06-01.274
 Курдубов С.Л. 22.06-01.277,
 22.06-01.282
 Куркин А.А. 22.06-01.55
 Куркина О.Е. 22.06-01.54,
 22.06-01.55
 Курсаков И.А. 22.06-01.175
 Кустов О.Ю. 22.06-01.167
 Кусюмов А.Н. 22.06-01.157,
 22.06-01.185
 Кусюмов С.А. 22.06-01.185

Л

Ланин В.Л. 22.06-01.264
 Ланшин А.И. 22.06-01.99,
 22.06-01.208
 Лебедев О.А. 22.06-01.298
 Лебига В.А. 22.06-01.59
 Леонов А.В. 22.06-01.283
 Леонтьев А.В. 22.06-01.232
 Лесных Т.О. 22.06-01.156,
 22.06-01.168
 Ливерко Д.А. 22.06-01.164
 Лио Ю. 22.06-01.261
 Лисин А.А. 22.06-01.171
 Лихтер В.А. 22.06-01.121
 Лобанова Д.И. 22.06-01.105,
 22.06-01.119, 22.06-01.120
 Лободин И.Е. 22.06-01.80
 Лозовский И.Н. 22.06-01.260
 Лопато А.И. 22.06-01.186
 Лосева Е.С. 22.06-01.260
 Лукин А.В. 22.06-01.301
 Лун-Фу А.В. 22.06-01.30
 Луховицкий Б.И. 22.06-01.135,
 22.06-01.265
 Лысенков А.В. 22.06-01.187
 Львов К.П. 22.06-01.81
 Любимов А.Н. 22.06-01.196
 Любимов В.В. 22.06-01.287
 Любимов Д.А. 22.06-01.93,
 22.06-01.122, 22.06-01.123,
 22.06-01.124, 22.06-01.125,
 22.06-01.126, 22.06-01.127,
 22.06-01.128, 22.06-01.129,
 22.06-01.188

М

Майоров А.О. 22.06-01.289
 Макаров А.Ю. 22.06-01.101,
 22.06-01.127

Макаров В.Е. 22.06-01.66,
22.06-01.110, 22.06-01.111,
22.06-01.112

Макашев Д.Р. 22.06-01.68
Максимов А.Д. 22.06-01.209
Маленко В.А. 22.06-01.164
Мальшев Ф.А. 22.06-01.194
Мамонтов Д.В. 22.06-01.30
Маракуева О.В. 22.06-01.228,
22.06-01.229

Маркин В.В. 22.06-01.191
Марков С.А. 22.06-01.205
Марченко Л.Ю. 22.06-01.244
Маслов А.А. 22.06-01.48
Маслов В.П. 22.06-01.101,
22.06-01.189, 22.06-01.204,
22.06-01.207

Матросов А.А. 22.06-01.247
Матяш Е.С. 22.06-01.175
Матяш И.С. 22.06-01.159
Матяш С.В. 22.06-01.159,
22.06-01.187

Мацнев Э.И. 22.06-01.244
Мачихин А.С. 22.06-01.69
Машеева Р.У. 22.06-01.303
Мейтин В.А. 22.06-01.270
Мельников А.Н. 22.06-01.301
Мельникова О.М. 22.06-01.18
Меньшов И.С. 22.06-01.58
Меркулов А.А. 22.06-01.204,
22.06-01.207

Милешин В.И. 22.06-01.203,
22.06-01.205, 22.06-01.220,
22.06-01.231

Милич В.Н. 22.06-01.85
Милославский Ю.К. 22.06-01.31
Минаков Е.П. 22.06-01.285
Минеев Б.И. 22.06-01.204,
22.06-01.207

Миргазов Р.М. 22.06-01.160
Миргазов Р.М.. 22.06-01.183
Мирзоян А.А. 22.06-01.200
Миронов А.К. 22.06-01.90,
22.06-01.104, 22.06-01.106,
22.06-01.189, 22.06-01.225

Миронов Д.С. 22.06-01.59
Миронов М.А. 22.06-01.26
Миронова С.М. 22.06-01.277
Митрикас В.В. 22.06-01.275
Михайлов М.В. 22.06-01.33,
22.06-01.39, 22.06-01.144,
22.06-01.153

Михайлов С.А. 22.06-01.185
Михайлов С.В. 22.06-01.164
Мишин С.В. 22.06-01.297
Можаров Г.А. 22.06-01.297
Мойсеева И.Н. 22.06-01.249
Мокшанов В.Н. 22.06-01.270
Морозов А.Н. 22.06-01.164
Мошков П.А. 22.06-01.44,
22.06-01.150

Мукамбетов Р.Я. 22.06-01.308
Мухин А.Н. 22.06-01.145
Мырзали М. 22.06-01.303
Мышенков Е.В. 22.06-01.103,
22.06-01.104, 22.06-01.189

Н

Назаренко А.И. 22.06-01.294
Накаряков В.М. 22.06-01.274
Неклюдов Д.А. 22.06-01.45,
22.06-01.217
Некрасова С.О. 22.06-01.75
Ненадович В.Д. 22.06-01.299

Нестеров В.А. 22.06-01.255
Нигматуллин Р.З. 22.06-01.199
Нижник Д.А. 22.06-01.247
Никитин Г.В. 22.06-01.232
Никитин И.Н. 22.06-01.283
Никитина Л.Д. 22.06-01.283
Никитов С.А. 22.06-01.70
Никущенко Д.В. 22.06-01.176
Новиков А.В. 22.06-01.190
Новикова Н.Д. 22.06-01.36

О

Образ А.О. 22.06-01.190
Обухов Д.С. 22.06-01.246
Овсянников В.А. 22.06-01.286
Овсянников Я.В. 22.06-01.286
Овчинников А.И. 22.06-01.229
Овчинников С.Л. 22.06-01.241
Окулов М.К. 22.06-01.151
Олейников И.И. 22.06-01.270
Ореховский В.В. 22.06-01.187
Орлов О.И. 22.06-01.244
Осипик Ю.И. 22.06-01.52
Осипов А.А. 22.06-01.29,
22.06-01.108, 22.06-01.109,
22.06-01.201
Останко Д.А. 22.06-01.147
Остриков Н.Н. 22.06-01.173,
22.06-01.182
Островский Д.Б. 22.06-01.86

П

Павловский А.А. 22.06-01.76
Пак А.Ю. 22.06-01.59
Пальчеховская Н.В. 22.06-01.35,
22.06-01.38
Пальчиковский В.В. 22.06-01.167,
22.06-01.192
Панков С.В. 22.06-01.203
Паранин Г.В. 22.06-01.168
Пасекова О.Б. 22.06-01.244
Пасынков В.В. 22.06-01.281
Пасынок С.Л. 22.06-01.276
Пахов В.В. 22.06-01.157
Пелевкин А.В. 22.06-01.135,
22.06-01.136
Пелиновский Е.Н. 22.06-01.54
Перельман О.М. 22.06-01.50
Периков А.П. 22.06-01.270
Пестренин В.М. 22.06-01.50
Пестренина И.В. 22.06-01.50
Петров П.С. 22.06-01.61
Петухов В.П. 22.06-01.103,
22.06-01.104
Печагин Д.В. 22.06-01.156
Плаксин Г.М. 22.06-01.178
Плешев Д.А. 22.06-01.210,
22.06-01.211, 22.06-01.212
Подымова Н.Б. 22.06-01.74,
22.06-01.216
Пожар В.Э. 22.06-01.69
Поливанов П.А. 22.06-01.191
Польняков Н.А. 22.06-01.126,
22.06-01.225
Пономарёв Н.Б. 22.06-01.102
Пономарева Е.Н. 22.06-01.247
Попель С.И. 22.06-01.302
Попов В.А. 22.06-01.17
Попов Г.М. 22.06-01.42
Попов И.В. 22.06-01.20
Попов О.Ю. 22.06-01.147
Постников А.А. 22.06-01.100
Потапов О.А. 22.06-01.206

Почкин Я.С. 22.06-01.198,
22.06-01.206, 22.06-01.208
Приказчиков Д.А. 22.06-01.64
Прокаев А.Н. 22.06-01.233
Прокопов В.А. 22.06-01.306
Протасов М.И. 22.06-01.217
Прохоров А.Н. 22.06-01.102
Проценко Е.А. 22.06-01.77
Проценко С.В. 22.06-01.77
Пушкина Н.И. 22.06-01.52
Пьянков К.С. 22.06-01.18,
22.06-01.89, 22.06-01.107,
22.06-01.116
Пятунин К.Р. 22.06-01.195

Р

Раевский М.А. 22.06-01.78
Раскатов И.П. 22.06-01.62
Распопин Г.К. 22.06-01.68
Рафикова Г.Р. 22.06-01.24
Рахимов И.А. 22.06-01.278
Резунков Ю.А. 22.06-01.298
Родионов А.В. 22.06-01.251
Родионов П.В. 22.06-01.34
Романенко Г.А. 22.06-01.156
Романов В.А. 22.06-01.289
Романов Д.В. 22.06-01.289
Романов К.В. 22.06-01.289
Романов С.Ю. 22.06-01.239,
22.06-01.240, 22.06-01.241,
22.06-01.242, 22.06-01.243
Романова Е.В. 22.06-01.185
Россихин А.А. 22.06-01.203,
22.06-01.220
Рубаник В.В. 22.06-01.261
Рувинская Е.А. 22.06-01.54,
22.06-01.55
Руденчик Е.А. 22.06-01.300
Рыбак С.П. 22.06-01.33
Рябинин А.Н. 22.06-01.51

С

Сабирова Р.Ф. 22.06-01.64
Савельев А.А. 22.06-01.175
Савельев А.М. 22.06-01.120,
22.06-01.133, 22.06-01.134,
22.06-01.266
Савельева В.А. 22.06-01.134
Сагайдачный А.А. 22.06-01.263
Садин Д.В. 22.06-01.47
Сазонтов А.Г. 22.06-01.79
Сальников С.Д. 22.06-01.227,
22.06-01.230
Саммель А.Ю. 22.06-01.256
Самойлин Е.А. 22.06-01.69
Самченко А.А. 22.06-01.291
Санфиоров И.А. 22.06-01.218
Сахабетдинов И.У. 22.06-01.88
Селезнев И.А. 22.06-01.17
Семакина Е.Ю. 22.06-01.197
Семенёв П.А. 22.06-01.106,
22.06-01.117, 22.06-01.120,
22.06-01.189, 22.06-01.225
Семёнов А.П. 22.06-01.73
Семенов К.В. 22.06-01.232
Семенычев В.В. 22.06-01.252
Сёмин Ф.А. 22.06-01.248
Сергеев Д.А. 22.06-01.254
Сергеев М.С. 22.06-01.156
Сигалева Е.Э. 22.06-01.244
Сидняев Н.И. 22.06-01.214
Сидоренко А.А. 22.06-01.191
Силин Д.Е. 22.06-01.300

Сильвестров И.Ю. 22.06-01.45
 Синер А.А. 22.06-01.192
 Ситдикова Л.Ф. 22.06-01.53
 Скочиллов А.Ф. 22.06-01.301
 Скрипаль А.В. 22.06-01.263
 Скрябин А.С. 22.06-01.100
 Слободянюк Д.М. 22.06-01.39
 Смирнов В.В. 22.06-01.136,
 22.06-01.137
 Смирнов В.Я. 22.06-01.262
 Смирнов Е.М. 22.06-01.181
 Смирнов Н.Н. 22.06-01.294
 Смирновский А.А. 22.06-01.181
 Соболев Д.А. 22.06-01.14
 Соколов А.Л. 22.06-01.299
 Соколовская Ю.Г. 22.06-01.74
 Солк С.В. 22.06-01.298
 Соловьев А.В. 22.06-01.46
 Соловьев А.Н. 22.06-01.247
 Солонин В.И. 22.06-01.208
 Сорокин Е.В. 22.06-01.192
 Сорокин К.Э. 22.06-01.151
 Софронов И.Л. 22.06-01.178
 Старик А.М. 22.06-01.130,
 22.06-01.131, 22.06-01.132,
 22.06-01.133, 22.06-01.136,
 22.06-01.138, 22.06-01.266
 Старовойтов С.О. 22.06-01.271
 Старцев А.А. 22.06-01.192
 Сташков В.Б. 22.06-01.222
 Степанов В.А. 22.06-01.101,
 22.06-01.102, 22.06-01.105,
 22.06-01.118, 22.06-01.119,
 22.06-01.120
 Степанов В.В. 22.06-01.298
 Степанов Е.А. 22.06-01.289
 Степанов Р.П. 22.06-01.157
 Столяров В.А. 22.06-01.103,
 22.06-01.104
 Стоник О.Г. 22.06-01.62
 Стрелец М.Х. 22.06-01.170,
 22.06-01.235
 Стрижак В.А. 22.06-01.259
 Стукачев С.Е. 22.06-01.300
 Стуленков А.В. 22.06-01.254
 Суворкин В.В. 22.06-01.282
 Суворов А.С. 22.06-01.155,
 22.06-01.254
 Судаков А.Г. 22.06-01.176
 Сумбатьян М.А. 22.06-01.221
 Сундуков А.Е. 22.06-01.49
 Суркис И.Ф. 22.06-01.281
 Сухинов А.И. 22.06-01.77
 Сясько В.А. 22.06-01.260

Т

Талипова Т.Г. 22.06-01.54
 Тарнавский Г.А. 22.06-01.92
 Темная О.С. 22.06-01.70
 Теплых А.А. 22.06-01.73
 Терентьев С.А. 22.06-01.255
 Терентьева Л.В. 22.06-01.199
 Терехова А.А. 22.06-01.125,
 22.06-01.127, 22.06-01.128
 Терпугов Е.Л. 22.06-01.291
 Тилляева Н.И. 22.06-01.19,
 22.06-01.89
 Тимонов Д.А. 22.06-01.222
 Тимошенков В.Г. 22.06-01.83
 Тимушев С.Ф. 22.06-01.44,
 22.06-01.149, 22.06-01.150,
 22.06-01.219
 Титарев В.А. 22.06-01.37,
 22.06-01.148

Титов Е.В. 22.06-01.281
 Титова Н.С. 22.06-01.120,
 22.06-01.130, 22.06-01.131,
 22.06-01.132, 22.06-01.133,
 22.06-01.136, 22.06-01.137,
 22.06-01.138, 22.06-01.266
 Тихонова А.С. 22.06-01.263
 Ткаченко Р.В. 22.06-01.290
 Токталиев П.Д. 22.06-01.120
 Толстогузов С.С. 22.06-01.213
 Толстых А.И. 22.06-01.40
 Торопылина Е.Ю. 22.06-01.44
 Торохов С.А. 22.06-01.130,
 22.06-01.131, 22.06-01.136,
 22.06-01.137
 Травин А.К. 22.06-01.170,
 22.06-01.235
 Трошин А.И. 22.06-01.158,
 22.06-01.159, 22.06-01.175
 Тугбаева А.С. 22.06-01.85
 Туральчук П.А. 22.06-01.25
 Тхай В.Н. 22.06-01.56
 Тюренкова В.В. 22.06-01.294

У

Улыбышев К.Е. 22.06-01.121
 Усачов А.Е. 22.06-01.176
 Усовик И.В. 22.06-01.294

Ф

Фадейкин А.С. 22.06-01.50
 Фараносов Г.А. 22.06-01.37,
 22.06-01.143, 22.06-01.148
 Федоренко Д.С. 22.06-01.295
 Фёдоров А.В. 22.06-01.190,
 22.06-01.193
 Федосеев С.Ю. 22.06-01.150
 Феодоритова О.Б. 22.06-01.36,
 22.06-01.226
 Фикс Г.Е. 22.06-01.206
 Фикс И.Ш. 22.06-01.206
 Фомин А.В. 22.06-01.263
 Фортова С.В. 22.06-01.172,
 22.06-01.174

Х

Хабидуллина А.Р. 22.06-01.248
 Халецкий Ю.Д. 22.06-01.198,
 22.06-01.200, 22.06-01.202,
 22.06-01.205, 22.06-01.206,
 22.06-01.208
 Ханталин Д.С. 22.06-01.195
 Харченко С.А. 22.06-01.239
 Хасанов Н.Г. 22.06-01.267
 Хвалин А.Л. 22.06-01.94
 Хвостов Е.Ю. 22.06-01.280
 Хечинашвили Н.Н. 22.06-01.291
 Хитрово А.А. 22.06-01.253
 Хлебников С.Г. 22.06-01.296
 Хмелев В.Н. 22.06-01.255
 Хотяновский Д.В. 22.06-01.184
 Храмцов И.В. 22.06-01.167,
 22.06-01.192
 Хуснутдинов И.Ф. 22.06-01.267

Ц

Царенко Ю.В. 22.06-01.261
 Цатурян А.К. 22.06-01.248
 Цветков А.И. 22.06-01.27
 Цветкова В.О. 22.06-01.162
 Цой В.И. 22.06-01.269

Цырюльников И.С. 22.06-01.48

Ч

Чайковский И.И. 22.06-01.218
 Чебаненко В.А. 22.06-01.247
 Чеверда В.А. 22.06-01.45
 Чеглаков И.В. 22.06-01.196
 Чепрасов С.А. 22.06-01.114
 Черкасова М.Г. 22.06-01.197
 Черников В.А. 22.06-01.197
 Черников В.С. 22.06-01.280
 Чернов В.К. 22.06-01.280
 Чернов В.П. 22.06-01.82
 Черноусько Ф.Л. 22.06-01.268
 Чернышев И.Л. 22.06-01.163
 Чернышев С.А. 22.06-01.96,
 22.06-01.143
 Чернышов П.С. 22.06-01.27,
 22.06-01.28, 22.06-01.95
 Чернявский В.А. 22.06-01.296
 Честных А. 22.06-01.123,
 22.06-01.125
 Чувахов П.В. 22.06-01.193
 Чулюнин А.Ю. 22.06-01.176
 Чупашев А.В. 22.06-01.256
 Чуркин А.А. 22.06-01.260
 Чучкалов И.Б. 22.06-01.147

Ш

Шабанов В.А. 22.06-01.234
 Шабанова Н.С. 22.06-01.234
 Шавров В.Г. 22.06-01.210,
 22.06-01.211, 22.06-01.212
 Шагапов В.Ш. 22.06-01.24
 Шалунов А.В. 22.06-01.255
 Шанин А.В. 22.06-01.21, 22.06-01.60
 Шапоренко Е.В. 22.06-01.149
 Шапошников Д.С. 22.06-01.119
 Шарифутдинов М.Р. 22.06-01.257
 Шарипов А.С. 22.06-01.135,
 22.06-01.265
 Шарипова Л.М. 22.06-01.292
 Шахматов Е.В. 22.06-01.49
 Шаяхметов Г.Ф. 22.06-01.23
 Швецов А.С. 22.06-01.204,
 22.06-01.207
 Шевяков В.И. 22.06-01.151
 Шелгунов Е.Ю. 22.06-01.103
 Шипко В.В. 22.06-01.69
 Широбоков Д.А. 22.06-01.40
 Широкий С.М. 22.06-01.281
 Широков В.А. 22.06-01.85
 Ширяева С.О. 22.06-01.63
 Шишкалов А.В. 22.06-01.232
 Шорстов В.А. 22.06-01.41,
 22.06-01.66, 22.06-01.110,
 22.06-01.111, 22.06-01.112
 Штейн А.А. 22.06-01.249
 Шуваев Н.В. 22.06-01.227,
 22.06-01.229, 22.06-01.230
 Шумин Ч. 22.06-01.288
 Шур М.Л. 22.06-01.170, 22.06-01.235
 Шуруп А.С. 22.06-01.76
 Шустов С.А. 22.06-01.209

Щ

Щеглов В.И. 22.06-01.210,
 22.06-01.211, 22.06-01.212
 Щербаков И.А. 22.06-01.12
 Щербаков К.А. 22.06-01.291
 Щербань А.И. 22.06-01.42
 Щербинин Д.Ю. 22.06-01.13

Ю

Юмашева Е.В. **22.06-01.222**

Я

Яблоник Л.Р. **22.06-01.97**
Яковец М.А. **22.06-01.182**
Яковлев А.А. **22.06-01.44,**

22.06-01.150

Яковлев Е.А. **22.06-01.89,**

22.06-01.107

Яременко Н.Г. **22.06-01.67**

Ярославцев А.Г. **22.06-01.218**

УКАЗАТЕЛЬ ИСТОЧНИКОВ

Журналы

- Авиакосмическое приборостроение. 2022, № 10
22.06-01.284, 22.06-01.285
- Авиакосмическое приборостроение. 2022, № 11 **22.06-01.286**
- Авиационные двигатели. 2018, № 1 **22.06-01.198**
- Авиационные двигатели. 2019, № 2 **22.06-01.199**
- Авиационные двигатели. 2020, № 2 **22.06-01.200**
- Авиационные двигатели. 2020, № 3 **22.06-01.201, 22.06-01.202**
- Авиационные двигатели. 2020, № 4 **22.06-01.203, 22.06-01.204**
- Авиационные двигатели. 2021, № 1 **22.06-01.205**
- Авиационные двигатели. 2021, № 2 **22.06-01.206**
- Авиационные двигатели. 2021, № 4 **22.06-01.207**
- Авиационные двигатели. 2022, № 2 **22.06-01.93, 22.06-01.208**
- Автоматика и телемеханика. 2022, № 9 **22.06-01.56**
- Автоматика и телемеханика. 2022, № 10 **22.06-01.246**
- Акустический журнал. 2022. 68, № 6 **22.06-01.25, 22.06-01.57, 22.06-01.61, 22.06-01.72, 22.06-01.73, 22.06-01.78, 22.06-01.79, 22.06-01.96, 22.06-01.97, 22.06-01.98, 22.06-01.216**
- Биофизика. 2022. 67, № 2 **22.06-01.245, 22.06-01.291**
- Биофизика. 2022. 67, № 4 **22.06-01.247, 22.06-01.248**
- Биофизика. 2022. 67, № 6 **22.06-01.249**
- Вестн Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2022, № 79 **22.06-01.30, 22.06-01.50, 22.06-01.293**
- Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия. 2022, № 5 **22.06-01.76**
- Вестник Московского авиац. ин-та. 2022. 29, № 3 **22.06-01.308**
- Вестник Московского гос. обл. ун-та. Серия: Физ.—Мат. 2022, № 3 **22.06-01.215**
- Вестник Российской академии наук (РАН). 2022. 92, № 12 **22.06-01.15**
- Вестник Самарского ун-та. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2022. 21, № 1 **22.06-01.49, 22.06-01.209**
- Вестник Самарского ун-та. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2022. 21, № 3 **22.06-01.252, 22.06-01.287, 22.06-01.288**
- Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия. 2022. 9, № 3 **22.06-01.290**
- Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2022. 14, № 4 **22.06-01.77**
- Вопросы истории естествознания и техники. 2020. 41, № 4 **22.06-01.13**
- Вопросы истории естествознания и техники. 2022. 43, № 2 **22.06-01.14**
- Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020, № 9-10(147-148) **22.06-01.222, 22.06-01.294**
- Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021, № 1-2(151-152) **22.06-01.295**
- Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021, № 9-10(159-160) **22.06-01.232**
- Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022, № 1-2(163-164) **22.06-01.296**
- Вычислительные методы и программирование. 2005. 6, № 1 **22.06-01.91, 22.06-01.283**
- Вычислительные методы и программирование. 2006. 7, № 1 **22.06-01.239**
- Вычислительные методы и программирование. 2010. 11, № 1 **22.06-01.92**
- Вычислительные методы и программирование. 2011. 12, № 3 **22.06-01.52, 22.06-01.240**
- Вычислительные методы и программирование. 2012. 13, № 2 **22.06-01.241**
- Вычислительные методы и программирование. 2012. 13, № 3 **22.06-01.22**
- Вычислительные методы и программирование. 2013. 14, № 4 **22.06-01.242**
- Вычислительные методы и программирование. 2014. 15, № 3 **22.06-01.45**
- Вычислительные методы и программирование. 2015. 16, № 4 **22.06-01.243**
- Вычислительные методы и программирование. 2016. 17, № 2 **22.06-01.46**
- Вычислительные методы и программирование. 2019. 20, № 4 **22.06-01.27**
- Вычислительные методы и программирование. 2021. 22, № 1 **22.06-01.47**
- Вычислительные методы и программирование. 2022. 23, № 1 **22.06-01.217**
- Геофизика. 2022, № 5 **22.06-01.218**
- Гидроакустика. 2022, № 51 **22.06-01.17, 22.06-01.31, 22.06-01.80, 22.06-01.81, 22.06-01.82, 22.06-01.83, 22.06-01.86, 22.06-01.87, 22.06-01.233, 22.06-01.234**
- Датчики и системы. 2022, № 2 **22.06-01.88**
- Датчики и системы. 2022, № 3 **22.06-01.253**
- Дефектоскопия. 2022, № 11 **22.06-01.74, 22.06-01.237, 22.06-01.238, 22.06-01.258, 22.06-01.259**
- Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2022. 66, № 3 **22.06-01.261**
- Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2022. 506, № 2 **22.06-01.12, 22.06-01.64, 22.06-01.268**
- Ж. эксперим. и теор. физ. 2022. 162, № 5 **22.06-01.273, 22.06-01.304**
- Ж. эксперим. и теор. физ. 2022. 162, № 6 **22.06-01.305, 22.06-01.306**
- Журнал радиоэлектроники. 2021, № 9 **22.06-01.210**
- Журнал радиоэлектроники. 2021, № 10 **22.06-01.211, 22.06-01.212**
- Журнал радиоэлектроники. 2021, № 11 **22.06-01.71**
- Журнал радиоэлектроники. 2022, № 2 **22.06-01.236**
- Журнал радиоэлектроники. 2022, № 8 **22.06-01.84**
- Журнал технической физики. 2022. 92, № 12 **22.06-01.51**
- Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2022. 65, № 4 **22.06-01.274, 22.06-01.307**
- Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2022. 65, № 6 **22.06-01.65**
- Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2020, № 2 **22.06-01.221**
- Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2022. 22, № 2 **22.06-01.75, 22.06-01.263, 22.06-01.289**
- Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2022. 22, № 4 **22.06-01.94, 22.06-01.269**
- Инженерная физика. 2022, № 10 **22.06-01.23**
- Инженерно-физический журнал. 2022. 95, № 2 **22.06-01.28, 22.06-01.254**
- Инженерно-физический журнал. 2022. 95, № 3 **22.06-01.213**
- Инженерно-физический журнал. 2022. 95, № 4 **22.06-01.24, 22.06-01.255**
- Инженерно-физический журнал. 2022. 95, № 5 **22.06-01.62, 22.06-01.95, 22.06-01.256**
- Инженерно-физический журнал. 2022. 95, № 6 **22.06-01.53, 22.06-01.214, 22.06-01.264**
- Инженерно-физический журнал. 2022. 95, № 7 **22.06-01.257**
- История науки и техники. 2022, № 10 **22.06-01.16**
- Контроль. Диагностика. 2022. 25, № 10 **22.06-01.260**
- Кратк. сообщ. по физ. ФИАН. 2022. 49, № 12 **22.06-01.292**
- Мир измерений. 2022, № 1 **22.06-01.262**
- Оптика и спектроскопия. 2022. 130, № 6 **22.06-01.68**

Оптика и спектроскопия. 2022. 130, № 10 **22.06-01.69**
 Оптический журнал. 2021. 88, № 11 **22.06-01.297**
 Оптический журнал. 2022. 89, № 1 **22.06-01.67,**
22.06-01.270, 22.06-01.271
 Оптический журнал. 2022. 89, № 5 **22.06-01.298**
 Оптический журнал. 2022. 89, № 7 **22.06-01.299,**
22.06-01.300
 Оптический журнал. 2022. 89, № 8 **22.06-01.272**
 Оптический журнал. 2022. 89, № 10 **22.06-01.301**

Письма в Журнал технической физики. 2022. 48, № 24
22.06-01.70
 Прикл. мат. и мех. 2022. 86, № 6 **22.06-01.63**
 Сенсорные системы. 2022. 36, № 4 **22.06-01.244**
 Теплофиз. и аэромех. 2022, № 5 **22.06-01.48**
 Физика плазмы. 2022. 48, № 11 **22.06-01.302, 22.06-01.303**
 Химическая физика и мезоскопия. 2022. 24, № 3 **22.06-01.85**
 Экологические системы и приборы. 2022, № 10 **22.06-01.54,**
22.06-01.55

Конференции и сборники

Вычислительный эксперимент в аэроакустике и аэродинамике:

Девятая российская конференция, г. Светлогорск
 Калининградской области, 26 сентября — 1 октября 2022 г.:
 Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша РАН. 2022
22.06-01.20, 22.06-01.21, 22.06-01.26, 22.06-01.32,
22.06-01.33, 22.06-01.34, 22.06-01.35, 22.06-01.36,
22.06-01.37, 22.06-01.38, 22.06-01.39, 22.06-01.40,
22.06-01.41, 22.06-01.42, 22.06-01.43, 22.06-01.44,
22.06-01.58, 22.06-01.59, 22.06-01.60, 22.06-01.66,
22.06-01.141, 22.06-01.142, 22.06-01.143, 22.06-01.144,
22.06-01.145, 22.06-01.146, 22.06-01.147, 22.06-01.148,
22.06-01.149, 22.06-01.150, 22.06-01.151, 22.06-01.152,
22.06-01.153, 22.06-01.154, 22.06-01.155, 22.06-01.156,
22.06-01.157, 22.06-01.158, 22.06-01.159, 22.06-01.160,
22.06-01.161, 22.06-01.162, 22.06-01.163, 22.06-01.164,
22.06-01.165, 22.06-01.166, 22.06-01.167, 22.06-01.168,
22.06-01.169, 22.06-01.170, 22.06-01.171, 22.06-01.172,
22.06-01.173, 22.06-01.174, 22.06-01.175, 22.06-01.176,
22.06-01.177, 22.06-01.178, 22.06-01.179, 22.06-01.180,
22.06-01.181, 22.06-01.182, 22.06-01.183, 22.06-01.184,
22.06-01.185, 22.06-01.186, 22.06-01.187, 22.06-01.188,
22.06-01.189, 22.06-01.190, 22.06-01.191, 22.06-01.192,
22.06-01.193, 22.06-01.194, 22.06-01.195, 22.06-01.196,
22.06-01.197, 22.06-01.219, 22.06-01.220, 22.06-01.223,
22.06-01.224, 22.06-01.225, 22.06-01.226, 22.06-01.227,
22.06-01.228, 22.06-01.229, 22.06-01.230, 22.06-01.231,

22.06-01.235, 22.06-01.250, 22.06-01.251, 22.06-01.267
 Теоретическая и прикладная газовая динамика. Труды ЦИАМ
 № 1341. Т. 1. М.: Торус ПРЕСС. 2010 **22.06-01.18,**
22.06-01.29, 22.06-01.89, 22.06-01.90

Труды Института прикладной астрономии РАН № 60. СПб.:
 ИПА РАН. 2022 **22.06-01.275, 22.06-01.276,**
22.06-01.277, 22.06-01.278, 22.06-01.279, 22.06-01.280

Труды Института прикладной астрономии РАН № 61. 2022
22.06-01.281, 22.06-01.282

Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики
 и физической химии в авиационном двигателестроении.

Сборник научных трудов. М.: Центральный институт
 авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020
22.06-01.19, 22.06-01.99, 22.06-01.100, 22.06-01.101,
22.06-01.102, 22.06-01.103, 22.06-01.104, 22.06-01.105,
22.06-01.106, 22.06-01.107, 22.06-01.108, 22.06-01.109,
22.06-01.110, 22.06-01.111, 22.06-01.112, 22.06-01.113,
22.06-01.114, 22.06-01.115, 22.06-01.116, 22.06-01.117,
22.06-01.118, 22.06-01.119, 22.06-01.120, 22.06-01.121,
22.06-01.122, 22.06-01.123, 22.06-01.124, 22.06-01.125,
22.06-01.126, 22.06-01.127, 22.06-01.128, 22.06-01.129,
22.06-01.130, 22.06-01.131, 22.06-01.132, 22.06-01.133,
22.06-01.134, 22.06-01.135, 22.06-01.136, 22.06-01.137,
22.06-01.138, 22.06-01.139, 22.06-01.140, 22.06-01.265,
22.06-01.266

Книги

Вычислительный эксперимент в аэроакустике и
 аэродинамике: Девятая российская конференция, г.
 Светлогорск Калининградской области, 26 сентября — 1
 октября 2022 г.: Сборник тезисов. М.: ИПМ им. Келдыша
 РАН. 2022 **22.06-01.9К**

Прикладная газовая динамика. Том 1. 5-е изд., перераб. и доп.
 М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1991 **22.06-01.10К**

Прикладная газовая динамика. Том 2. 5-е изд., перераб. и доп.
 М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1991 **22.06-01.11К**

Теоретическая газовая динамика. Классика и современность.
 М.: Торус пресс. 2010 **22.06-01.3К**

Теоретическая и прикладная газовая динамика. Т. 1. М.:
 Торус пресс. 2010 **22.06-01.4К**

Теоретическая и прикладная газовая динамика. Т. 2. М.:

Торус пресс. 2010 **22.06-01.5К**

Теоретическая и прикладная газовая динамика. Труды ЦИАМ
 № 1341. Т. 1. М.: Торус ПРЕСС. 2010 **22.06-01.1К**

Труды Института прикладной астрономии РАН № 60. СПб.:
 ИПА РАН. 2022 **22.06-01.7К**

Труды Института прикладной астрономии РАН № 61. 2022
22.06-01.8К

Фундаментальные и прикладные проблемы газовой динамики
 и физической химии в авиационном двигателестроении.

Сборник научных трудов. М.: Центральный институт
 авиационного моторостроения имени П.И. Баранова. 2020
22.06-01.6К

Экологические проблемы авиации. М.: Торус пресс. 2010
22.06-01.2К

СОДЕРЖАНИЕ

Библиография	22.06-01.1
Персоналии	22.06-01.12
Классические проблемы линейной акустики и теории волн	22.06-01.18
Нелинейная акустика	22.06-01.54
Физическая акустика	22.06-01.61
Акустика океана, гидроакустика	22.06-01.76
Атмосферная и аэроакустика	22.06-01.89
Акустика структурно неоднородных сред; Геологическая акустика	22.06-01.216
Акустическая экология; Шумы и вибрации	22.06-01.219
Обработка акустических сигналов; Компьютерное моделирование	22.06-01.223
Акустика живых систем; Биологическая акустика	22.06-01.244
Физические основы технической акустики	22.06-01.250
Акустика в медицинской практике	22.06-01.263
Акустика в инженерном деле	22.06-01.264
Физика	22.06-01.265
Астрономия	22.06-01.275
Авторский указатель Указатель источников	