

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.

№ 05

Выходит 6 раз в год

Москва 2019

Библиография

19.05-01.1K Nonlinear Acoustics. Chapter S in the Book: Formulas of Acoustics. Rudenko O.V., Mechel F.P. (ред.) Berlin: SPRINGER-VERLAG. 2002. Англ.

19.05-01.2K Nonlinear phenomena in high-intensity noise fields. Rudenko O.V. Tokio: Inst. of Technology. 2004. Англ.

19.05-01.3K Nonlinear Acoustics through Problems and Examples. Gurbatov S.N., Rudenko O.V., Hedberg C.M. Victoria: Trafford Publishing. 2010, 184 с. Англ. ISBN 978-1-4269-0544-5

The fundamentals of nonlinear acoustics are presented in form of problems followed by solutions, explanations and answers. As distinct from existing textbooks, this book of problems not only helps the reader to become familiar with nonlinear wave processes and the methods of their description, but contributes to mastering calculation procedures and obtaining numerical estimates of the most significant parameters. Thereby, skills are acquired which are indispensable for carrying out original scientific research. This book can be useful to undergraduate and postgraduate students and researchers working in the field of nonlinear wave physics and acoustics. Перевод учебного пособия на английский язык, дополненный новым материалом. Пособие основано на курсах лекций, прочитанных в России (МГУ, ННГУ), а также в ряде университетов США, Японии, Швеции. Содержит как задачи, так и решения к ним. Книга автономна. Она позволяет изучить физику интенсивных акустических волн, не обращаясь к другим учебным пособиям и монографиям. Решения и задачи посвящены не только классическим проблемам нелинейной акустики, но и к современным, развивающимся направлениям.

19.05-01.4K Waves and Structures in Nonlinear Nondispersive Media. Gurbatov S.N., Rudenko O.V., Saichev A.I. Beijing: Higher Education Press Springer. 2011, 472 с. Англ. ISBN 978-7-04-031695-7

19.05-01.5K Theoretical Foundations of Nonlinear Acoustics. Rudenko O.V., Soluyan S.I. NY: Springer. 2013, 274 с. Англ. ISBN 978-1-48-994796-3

19.05-01.6K Космическая радиолокация. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, проводимой в рамках III Всероссийских Арmandовских чтений, Муром, 25—27 июня 2013 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2013

В сборник вошли доклады, прочитанные на II Всероссийской

научно-практической конференции «Космическая радиолокация», проводившейся в рамках III Всероссийских Арmandовских чтений (Муром, 25—27 июня 2013 г.). Представленные доклады отражают результаты теоретических и экспериментальных исследований учёных различных городов Российской Федерации, представляющих НИИ, высшие учебные заведения, научные центры в области разработки и применения радиолокационных систем космического назначения.

19.05-01.7K Теория волн: Линейные и нелинейные волны: учебное пособие для вузов. 2-е изд. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. М.: Ленанд. 2015, 432 с. ISBN 978-5-9710-1558-1

Изложены общие вопросы теории волн. Рассмотрены закономерности распространения сигналов в линейных и нелинейных средах с разнообразными физическими свойствами. Используются современные методы упрощения уравнений, позволяющие дать как детальное описание явлений, так и наглядную физическую интерпретацию. Во 2-е издание авторами был внесен ряд изменений и дополнений, отразивших прогресс в физике и методике преподавания предмета.

19.05-01.8K Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16—19 июня 2015 г. М.: ГЕОС. 2015

В сборнике содержатся тезисы докладов, представленных на Третий всероссийский семинар-совещание «Триггерные эффекты в геосистемах» 16—19 июня 2015 г. Москва, Институт динамики геосфер РАН. В тезисах отражены актуальные вопросы воздействия природных и антропогенных факторов на различные геосферы, геомеханические системы и техногенные объекты, находящиеся в субкритическом состоянии, а также влияние этих воздействий на систему атмосфера-ионосфера». Ряд докладов посвящен новому научному направлению — триггерным эффектам в геологии. В заключительной части сборника опубликованы тезисы докладов, представленные участниками школы молодых ученых ИДГ РАН «Динамические процессы в геосферах», проведенной 15 июня 2015 г.

19.05-01.9K Эластография сдвиговой волны: анализ клинчатых примеров. Борсуков А.В., Андреев В.Г., Гельт Т.Д., Гурбатов С.Н., Демин И.Ю., Иванова Е.В., Ковалев А.В., Козлова Е.Ю., Мамочкин А.В., Морозов М.В., Романов С.В., Руденко О.В., Рыжтик П.И., Сафонов Д.В., Сафонова М.А., Тимашиков И.А. Борсуков А.В. (ред.) Смоленск: Смоленская городская типография. 2017, 376 с. ISBN 978-5-94223-939-8

В монографии отражен 4-х летний опыт применения эластографии сдвиговой волны в многопрофильном стационаре.

19.05-01.10К **Нелинейные ультразвуковые волны в средах с поглощением и дисперсией. Учебное пособие для физического практикума по акустике.** *Борсуков А.В., Андреев В.Г., Гельт Т.Д., Гурбатов С.Н., Демин И.Ю., Иванова Е.В., Ковалев А.В., Козлова Е.Ю., Мамошин А.В., Морозов М.В., Романов С.В., Руденко О.В., Рыжтик П.И., Сафонов Д.В., Сафонова М.А., Тимашиков И.А. Коробов А.И., Руденко О.В., Сапожников О.А. (ред.)* М.: Физический факультет МГУ. 2017, 112 с. ISBN 978-5-8279-0143-3

В учебном пособии представлены практические задачи, посвященные эффектам, связанным с распространением волн конечной амплитуды в нелинейных средах с учетом поглощения, дисперсии и дифракции. Задачи реализованы в специальном практикуме кафедры акустики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Изучаемые нелинейные явления присущи не только акустическим волнам; поэтому знакомство происходит с универсальными особенностями поведения интенсивных скалярных волн безотносительно к их физической природе. Описание экспериментальных установок и практических упражнений предваряется теоретическим материалом. Сборник предназначен для обучения студентов старших курсов естественных факультетов изучающих основы физики и математического описания нелинейных волновых процессов. Кроме того, он может служить практическим пособием для лиц, заинтересованных в повышении квалификации в области акустики.

19.05-01.11К **Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VII Всероссийских Армадовских чтений, Муром, 27—29 июня 2017 г.** Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2017

В сборник включены доклады, прочитанные на Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VII Всероссийских Армадовских чтений. Представленные доклады отражают результаты теоретических и экспериментальных исследований в области разработки и применения методов и средств дистанционного зондирования, осуществлённых учёными из различных городов Российской Федерации, представляющих НИИ, высшие учебные заведения, научные центры.

19.05-01.12К **Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы II Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VIII Всероссийских Армадовских чтений, Муром, 26—28 июня 2018 г.** Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018

В сборник включены доклады, прочитанные на II Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VIII Всероссийских Армадовских чтений. Представленные доклады отражают результаты теоретических и экспериментальных исследований в области разработки и применения методов и средств дистанционного зондирования, осуществлённых учёными из различных городов Российской Федерации, Азербайджана, Китая, Вьетнама, Украины и США, представляющих НИИ, высшие учебные заведения, научные центры.

19.05-01.13К **Прикладные вопросы формирования и обработки сигналов в радиолокации, связи и акустике. Сборник тезисов докладов IX научно-практического семинара.** Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018

В сборник вошли тезисы докладов, представленных на IX научно-практический семинар «Прикладные вопросы форми-

рования и обработки сигналов в радиолокации, связи и акустике», проводившийся в рамках VIII Всероссийских Армадовских чтений.

19.05-01.14К **Обратные волновые задачи акустической томографии. Ч. 2: Обратные задачи акустического рассеяния.** *Буров В.А., Румянцева О.Д.* М.: ЛЕНАНД. 2020, 768 с. ISBN 978-5-9710-6419-0

Рассматриваются обратные волновые задачи и их прикладные аспекты, связанные с линейной и нелинейной акустической томографией, а также с акустической термотомографией. Подытоживаются основные результаты исследований, выполненных в лаборатории обратных задач на кафедре акустики Московского гос. ун-та им. М.В. Ломоносова за течение нескольких последних десятилетий. Часть 2 посвящена обратным задачам акустического рассеяния, как в приближении однократного рассеяния, так и с учетом перерассеяний. Помимо общей теории, затрагиваются вопросы единственности и устойчивости решения обратной задачи рассеяния. Большое внимание уделяется обсуждению прикладных возможностей акустических томографических систем, разработанных в последние годы.

19.05-01.15К **Теория волн: Линейные и нелинейные волны: учебное пособие для вузов.** Изд. стереотип. *Виноградова М.Б., Руденко О.В., Суворужов А.П.* М.: URSS. 2015, 448 с. ISBN 978-5-9710-6283-7

Изложены общие вопросы теории волн. Рассмотрены закономерности распространения сигналов в линейных и нелинейных средах с разнообразными физическими свойствами. Используются современные методы упрощения уравнений, позволяющие дать как детальное описание явлений, так и наглядную физическую интерпретацию. Во второе издание авторами был внесен ряд изменений и дополнений, отразивших прогресс в физике и методике преподавания предмета. К достоинству монографии, выделяющему ее из ряда пособий по данной теме, относится то, что коллективом авторов приводится около 100 задач с подробными решениями, которые отлично дополняют теоретический материал.

19.05-01.16К **Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.)** М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019

19.05-01.17 **Информационное поле русскоязычных публикаций и роль Интернета.** *Шамаев В.Г., Горшков А.Б.* *Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 20-24. Рус.

Заканчивается печатная эра научной информации и наступает электронная. Пока можно говорить лишь о первом этапе агрегирования русскоязычных электронных ресурсов. Рассматриваются политематические ресурсы (Банк данных ВИНТИ РАН, Научная электронная библиотека, «Истина» МГУ им. М.В. Ломоносова, Scopus) и несколько тематических ресурсов, имеющих большое будущее. Обсуждаются проблемы создания государственной наукометрической системы. Обращается внимание на унификацию технологии оцифровки ретроспективных печатных изданий.

19.05-01.18 **Содержание. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.)** М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 307-318. Рус.

19.05-01.19К **Theoretical Foundations of Nonlinear Acoustics.** *Rudenko O.V., Soluyan S.I.* NY: Plenum. 1977, 274 с. Англ. ISBN 0-306-10933-6

19.05-01.20К **Nonlinear Underwater Acoustics.** *Novikov B.K., Rudenko O.V., Timoshenko V.I.*: American Institute of Physics. 1987, 262 с. Англ. ISBN 0-883318-522-9

19.05-01.21К **Статистические задачи в нелинейной акустике. Серия "Лекции для студентов и аспирантов" общество "Знание".** *Руденко О.В.* М.: Изд-во МГУ. 1987,

43 с.

Излагается новый подход к анализу преобразования спектральных и корреляционных характеристик интенсивных шумовых волн в нелинейной среде с учетом затухания и дифракции. Разработанный метод применим не только к задачам нелинейной акустики, но и для описания возмущений в потоках невза-

имодействующих частиц, волн в плазме, волн на мелкой воде и ряда явлений в механике, физике и технических приложениях.

19.05-01.22К Statistical Phenomena . Ch. 13 in the Book: Nonlinear Acoustics. Gurbatov S.N., Rudenko O.V. Hamilton M.F., Blackstock D.T. (ред.) NY: Academic Press. 1998. Англ.

Персоналии

19.05-01.23 Памяти Жореса Ивановича Алфёрова. Асеев А.Л., Варшалонович Д.А., Велихов Е.П., Грехов И.В., Гуляев Ю.В., Жуков А.Е., Иванов С.В., Каплянский А.А., Копьев П.С., Красников Г.Я., Сурис Р.А., Фортвов В.Е. УФН. 2019. 189, № 8, с. 899-900. Рус.

19.05-01.24 Владимир Андреевич Успенский (27.11.1930—27.06.2018). Адян С.И., Андреев Н.Н., Беклемишев Л.Д., Гончаров С.С., Ершов Ю.Л., Матиясевич Ю.В., Осипов Ю.С., Пентус М.Р., Плунгян В.А., Рахилина Е.В., Садовничий В.А., Семёнов А.Л., Татевосов С.Г., Тихомиров В.М., Шень А.Х. Успехи математических наук. 2019. 74, № 4, с. 165-180. Рус.

19.05-01.25 Фортвов Владимир Евгеньевич. К семидесятилетию со дня рождения. Известия Российской академии наук. Энергетика. 2016, № 1, с. 157-158. Рус.

19.05-01.26 Физики на четвертьвековом юбилее Саратовского университета. Трубецков Д.И., Аникин В.М. Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2019. 27, № 3, с. 99-106. Рус.

Празднование юбилеев — одна из форм сохранения и охраны исторической памяти. Цель статьи — отражение вклада и особенностей участия физико-математического факультета СГУ при проведении юбилейных торжеств в 1935 г. Среди юбилеев Саратовского университета, учрежденного в 1909 г.,

особое место по своему историческому «положению» занимает четвертьвековой юбилей. Он отмечался в апреле 1935 г., через год после страшных голодных лет в Поволжье (1932—1933 гг.), через два года после отмены процесса «расчленения» университетов на отдельные институты, спустя 4 месяца после убийства С.М. Кирова. Как отмечали современники, «празднику был придан все-союзный и политический размах». В архивы не поступили официальные документы о юбилее (программа, список участников, приветственные адреса и т.п.). Ход пятнадцатидневных торжеств можно проследить по местным газетам, вышедшим в апреле 1935 г., а также по документальным источникам личного происхождения — письму профессора С.И. Спасокукоцкого и фотографам доцента В.И. Калинина, впоследствии профессора, основателя кафедры радиофизики СГУ. В статье вспоминаются некоторые эпизоды, отражающие участие сотрудников физико-математического факультета в юбилейных мероприятиях 1935 г.

19.05-01.27 К 80-летию Виктора Антоновича Садовничего. Вестник МГУ. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика. 2019, № 3, с. 3-5. Рус.

19.05-01.28 Виктор Александрович Зарайский. Малый В.В. Гидроакустика. 2019, № 38-1, с. 84-90. Рус.

19.05-01.29 К юбилею Виктора Антоновича Садовничего. Вестник МГУ. Сер. 1: Математика. Механика. 2019, № 3, с. 3-4. Рус.

Классические проблемы линейной акустики и теории волн

Математическая теория распространения волн

19.05-01.30 Использование методов лагранжевой механики для описания динамики возмущений сжимаемого идеального газа. Копьев В.Ф., Чернышев С.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 187-188. Рус.

В работе Копьев В.Ф., Чернышев С.А. Методы лагранжевой и гамильтоновой механики в задачах аэроакустики. Акустический журнал. 2018. Т.64. № 6. С. 692-703 было предложено описание динамики возмущения несжимаемой идеальной жидкости в рамках лагранжева формализма с полем смещения в качестве обобщенной координаты. В работе проводится обобщение этого подхода на случай сжимаемого газа.

19.05-01.31 Разностная схема с анализатором симметрии для уравнений газовой динамики. Колдоба А.В., Устюгова Г.В. Мат. моделир. 2019. 31, № 7, с. 45-57. Рус.

Предлагается анализатор симметрии как элемент вычислительного алгоритма для численного интегрирования двумерных уравнений идеальной газовой динамики. Анализатор симметрии — алгоритм, позволяющий по сеточным данным отдать предпочтение тем или иным (в настоящей работе декартовым или полярным) компонентам векторного поля для его реконструкции на грани расчетной сетки и последующего расчета потоков консервативных переменных. Построен вычислительный алгоритм, использующий расчетную сетку полярного типа и включающий анализатор симметрии. Алгоритм легко перенос-

ится на трехмерные расчетные сетки цилиндрического типа.

19.05-01.32 Компактные разностные схемы для аппроксимации дифференциальных соотношений. Гордин В.А. Мат. моделир. 2019. 31, № 7, с. 58-74. Рус.

Дифференциальные соотношения включают в себя как дифференциальные операторы, так и солверы для краевых задач. Получены формулы компактных разностных аппроксимаций дифференциальных соотношений первого и второго порядка вида $P_1[u]=P_2[f]$ Аппроксимация производится на трехточечных шаблонах. Для реализации, как и в случае классических разностных схем, требуется обращение трехдиагональной матрицы, однако компактные схемы обеспечивают существенно более высокую точность и 4-й порядок аппроксимации вместо 2-го.

19.05-01.33 О монотонных разностных схемах. Попов И.В. Мат. моделир. 2019. 31, № 8, с. 21-43. Рус.

Предлагается подход к построению монотонных разностных схем для решения простейших уравнений эллиптического и параболического типа с первыми производными и малым параметром при старшей производной. Для этого вводится понятие адаптивной искусственной вязкости. С его помощью строятся монотонные схемы аппроксимацией потока $O(h^4)$ для задачи с пограничным слоем и $O(\tau^2+h^2)$ для уравнений Бюргера, где h и τ — шаги сетки по пространству и времени. Вне области больших градиентов используется аппроксимация Самарского—Голанта (либо схемы с направленными разностями). Отмечена важность использования схем второго порядка по времени. Приводятся результаты расчетов.

19.05-01.34 Об одном методе численного решения уравнения Шредингера. Плохотников К.Э. Мат. моде-

мур. 2019. 31, № 8, с. 61-78. Рус.

Рассмотрен метод численного решения уравнения Шредингера, который, отчасти, можно отнести к классу методов Монте-Карло. Метод излагается и одновременно иллюстрируется на примерах решения одномерного и многомерного уравнения Шредингера в задачах: линейного одномерного осциллятора, атома водорода и бензола.

19.05-01.35 Обобщенный спектрально-аналитический метод: проблемы описания цифровых данных семействами ортогональных полиномов. Панкратов А.Н., Бритенков А.К. Вестник Нижегородского ун-та. 2004, № 1, с. 5-14. Рус.

Описание экспериментальных сигналов обобщенными рядами Фурье высокого порядка содержит ряд проблем при численной реализации. В работе исследована потеря ортогональности при дискретизации области определения классических ортогональных многочленов непрерывного аргумента. Предложен устойчивый и эффективный алгоритм вычисления функций Лагерра и Эрмита высокого порядка. Точность предложенного алгоритма и теоретическое значение квадратурных формул Гаусса подтверждены на численном примере. Рассматривается проблема выбора масштабного коэффициента для адаптивной аппроксимации. Предложенные методы актуальны для исследования радиофизических сигналов (акустических, импульсного ядерного магнитного резонанса ЯМР), биофизических измерений (лазерной доплеровской флоуметрии и экономических показателей (колебаний биржевых курсов).

Отражение, дифракция и рефракция волн

19.05-01.36 Моделирование формы звукоотражающей поверхности для получения заданного звукового поля. Мурзинов В.Л., Попов С.В., Татарникова Ю.В. 2019. 5, № 2, с. 14-19. Рус.

Рассматривается задача построения звукоотражающей поверхности. По заранее спланированному характеру звукового поля для конкретной области моделируют формы отражающих поверхностей, изготавливают их и устанавливают в заданном порядке. Для точечного источника звука рассчитывается форма отражающей поверхности, находящаяся на заданном расстоянии от источника, и обеспечивающая формирование параллельного звукового потока в заданном направлении.

19.05-01.37 Пространственная задача о прохождении упругой волны через два параллельных двойкопериодических массива трещин. Ремизов М.Ю. Прикл. мат. и мех. 2019. 83, № 1, с. 72-83. Рус.

Вычисляются коэффициенты отражения и прохождения в задаче о падении плоской волны на трехмерную систему двух параллельных двойкопериодических массивов трещин. В условиях низкочастотного режима задача сводится к системе интегральных уравнений на одной выделенной трещине. Полуаналитический метод, разработанный ранее для трехмерных скалярных и плоских упругих задач, приводит к явным аналитическим представлениям для волнового поля и параметров рассеяния.

19.05-01.38 Точное решение задач дифракции нестационарных волн на клине при смешанных краевых условиях методом Смирнова—Соболева. Израилов М.Ш. Доклады академии наук. 2019. 485, № 4, с. 434-437. Рус.

До сих пор метод Смирнова—Соболева применялся только к проблемам дифракции с краевыми условиями Дирихле и Неймана. В работе показано, что он приводит также к точному решению смешанной задачи дифракции на клине, весьма важной, например, для оценки возможности защиты от взрывных волн клиновидными барьерами с разными отражающими свойствами сторон.

Отражение, дифракция, рассеяние упругих волн

19.05-01.39 Разностные схемы согласованной ап-

проксимации напряженно-деформированного состояния и энергобаланса среды. Повещенко Ю.А., Гасилов В.А., Подрыга В.О., Ладонкина М.Е., Волошин А.С., Войков Д.С., Беклемышева К.А. Мат. моделир. 2019. 31, № 7, с. 3-20. Рус.

Методом опорных операторов для двумерных задач теории упругости построены интегрально согласованные аппроксимации компонент тензора деформаций и упругой энергии среды для уравнений теории упругости в терминах смещений. Исходные уравнения аппроксимированы на нерегулярных разностных сетках в плоскости R-Z цилиндрической системы координат. Аппроксимации в плоскости переменных R-Z получены из полных трехмерных аппроксимаций путем предельного перехода при стремлении к нулю угловой переменной. Построенные схемы сохраняют свойства дивергентности, самосопряженности и знакоопределенности, присущие соответствующим операторам в исходной системе дифференциальных уравнений.

Стоячие волны, резонанс, нормальные моды

19.05-01.40 Численное моделирование распространения звуковых волн, выходящих из трубки малого сечения в бесконечное пространство. Межоношин В.К., Шувалов Н.В. Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. 2018, № 1, с. 209-211. Рус.

Проведено численное моделирование распространения звуковых волн, выходящих из трубки малого сечения в бесконечное пространство. Представлено сравнение теоретических и расчетных результатов. Исследовано предположение о том, что звук, выходящий из трубки, является всенаправленным при определенной частоте.

19.05-01.41 Акустический метод контроля длины, диаметра и состояния внутренней полости труб. Борминский С.А. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. 20, № 6, с. 178-183. Рус.

Статья посвящена вопросам разработки теоретического обоснования и практической реализации акустического метода контроля геометрических параметров труб, как основного объекта трубопроводного транспорта, применяемых в системах производства, транспорта и потребления тепловой энергии. Метод основывается на математической обработке отраженного от открытого конца трубы акустического сигнала и позволяет получать информацию одновременно о длине, диаметре трубы с контролем качества внутренней полости. Предложенный в статье алгоритм измерения диаметра расширяет функциональные возможности измерительной аппаратуры и позволяет автоматически рассчитать сдвиг фазы акустического сигнала при отражении от открытого конца трубы, таким образом, полностью автоматизируется процесс измерения длины труб произвольного диаметра. Экспериментальные исследования, проведенные с использованием разработанного алгоритма, показали, что относительная погрешность измерения длины на трубах длиной 3 м составила не более 0.15%, погрешность измерения диаметра трубы равного 110мм составила не более 7%.

Волноводы, волны в трубах и направляющих системах

19.05-01.42 Захват волны в искривленном цилиндрическом акустическом волноводе с неизменным сечением. Назаров С.А. Алгебра и анализ. 2019. 31, № 5, с. 154-183. Рус.

Рассматриваются цилиндрические акустические волноводы с одинаковым поперечным сечением ω : прямой $\Omega = \mathbb{R} \times \omega \subset \mathbb{R}^d$ и локально искривленный Ω^ε , зависящий от параметра $\varepsilon \in (0, 1]$. При $d > 2$ в двух ситуациях ($\varepsilon = 1$ и $\varepsilon \ll 1$) отыскивается собственное число λ^ε , вкрапленное в непрерывный спектр $[0, +\infty)$ волновода Ω^ε и потому обладающее природной неустойчивостью. Иными словами, у задачи Неймана для оператора Гельмгольца $\Delta + \lambda^\varepsilon$ появляется затухающее на бесконечности решение — собственная функция из пространства Соболева $H^1(\Omega^\varepsilon)$. В первой ситуации у сечения ω предполагается двойная симметрия, а собственное число возникает при любой негравитальной кривизне

оси волновода Ω^ε . Во второй ситуации при некотором ограничении на форму асимметричного сечения ω собственное число λ^ε формируется путем скрупулезного подбора кривизны $O(\varepsilon)$ при малом $\varepsilon > 0$.

Переходное излучение и рассеяние

19.05-01.43 Асимптотическое решение гиперсингулярного граничного интегрального уравнения, моделирующего рассеяние плоских волн на интерфейсной полосовой трещине. *Дорошенко О.В., Кириллова Е.В., Фоменко С.И. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2019, № 2, с. 86-99. Рус.*

Одним из методов обнаружения и идентификации внутренних повреждений материалов и конструкций, широко применяемых на практике в различных областях машиностроения и геофизики, является неразрушающий ультразвуковой контроль. Для успешного использования данного метода необходима разработка математических моделей, описывающих рассеяние упругих волн на различных дефектах и неоднородностях. Современные композитные материалы делают актуальной задачу определения производственных или усталостных повреждений, расположенных на внутренних границах раздела разнородных сред. Для моделирования рассеяния упругих волн интерфейсными трещинами в настоящей работе используется аналитически ориентированный метод граничных интегральных уравнений (ГИУ). В рамках этого метода неизвестная функция раскрытия берегов трещины раскладывается в ряд ортогональных функций, и интегральное уравнение проецируется на некоторый набор функций. Регуляризация гиперсингулярных ГИУ методом Бубнова—Галеркина производится путем повторного интегрирования по берегам трещины. В данной работе с помощью метода ГИУ строится асимптотическое решение задачи о дифракции плоских упругих волн на полосовой интерфейсной трещине, расположенной между двумя разнородными полупространствами. Для рассеянного поля строится интегральное представление в терминах Фурье-образов матрицы Грина. Скачок перемещений на полосовой трещине раскладывается в ряд по полиномам Чебышева второго порядка. Предположение о малости характерного размера дефекта по сравнению с длиной падающей волны позволяет построить асимптотические представления для ядра интегрального уравнения в нуле и бесконечно удаленных точках. С помощью метода Бубнова—Галеркина находится асимптотическое зависящее от частоты решение ГИУ, которое имеет более широкий частотный диапазон сходимости по сравнению с известным квазистатическим решением. Хорошая согласованность построенного асимптотического решения с численным решением демонстрируется для разных пар материалов. Построенная асимптотика позволяет повысить эффективность МГИУ за счет уменьшения вычислительных затрат на расчет интегралов, а также может быть применена в рамках модели Бострема—Викхема для описания динамического поврежденных интерфейсов в более широком частотном диапазоне.

Излучение источников, импеданс, картины полей

19.05-01.44 Синхронные возмущения акустического и электрического полей, вызванные источниками природного и техногенного происхождения. *Соловьев С.П., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А. Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16–19 июня 2015 г. М.: ГЕОС. 2015, с. 71. Рус.*

19.05-01.45 Об особенностях численного моделирования задач генерации шума турбулентными сдвиговыми потоками. *Любимов Д.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 19. Рус.*

Представлены особенности численного моделирования задач

аэроакустики с помощью вихререзающих подходов на примере шума и пульсаций давления, порождаемых турбулентными течениями на примере струй и слоев течений. Расчет шума и пульсаций давления, порожденных турбулентными вихрями, представляет собой сложную в расчетном плане задачу, которая часто встречается в практических приложениях. Рассмотрены основные особенности указанных типов течений, которые необходимо учитывать при их численном моделировании: значительное изменение масштабов турбулентных вихрей по длине, большая протяженность в азимутальном/трансверсальном направлении по сравнению с толщиной в начале начального участка, близкая к нулю толщина в окрестности схода слоя смещения с твердой поверхности. Отмечена специфика постановки граничных условий для затопленных струй, в том числе при их взаимодействии с преградами, а также сложности расчета струй и слоев смещения при наличии спутного потока, нерасчетных сверхзвуковых струй. Показаны основные способы вычисления аэроакустических интегралов, указаны их специфические особенности. Представлены различные варианты постановки граничных условий в начальном сечении струй и слоев смещения. Приведены примеры расчетов различных дозвуковых и сверхзвуковых струй и слоев смещения с помощью разных численных методов с указанием использованных расчетных сеток и полученных результатов по уровню и спектральным характеристикам шума и пульсаций давления.

19.05-01.46 Исследование направленности первой гармоники тонального шума несущего вертолетного винта для режимов полета и висения. *Воронцов В.И., Зайцев М.Ю., Карбасов С.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 27. Рус.*

Работа посвящена численному исследованию направленности первой гармоники тонального шума несущего вертолетного винта на режиме висения и горизонтального полета. Для расчета акустических характеристик, обусловленных нестационарной нагрузкой на лопастях, используется программный комплекс, провалидированный с помощью экспериментальных данных на режиме висения. Применяется гибридный метод расчета, согласно которому вначале рассчитывается ближнее поле, а затем находятся акустические характеристики в дальнем поле. В ближнем поле находятся значения параметров поля около вращающейся лопасти из прямого расчета решения нестационарных уравнений Эйлера в неинерциальной системе координат. Для расчета дальнего поля применяется интегральный метод Фокса Уильямса—Хокинга (ФВХ) с использованием проницаемых контрольных поверхностей, охватывающих лопасть. Описывается обновленная программная часть расчета сигнала в дальнем поле. Обновление позволило значительно ускорить расчёт сигнала в дальнем поле для большого количества точек наблюдения и в целом упростить операцию.

19.05-01.47 Исследование шума крупномасштабных моделей несущих вертолетных винтов на основе результатов сравнительных измерений. *Денисов С.Л., Зайцев М.Ю. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 28-29. Рус.*

Проводится сравнение измерений шума для трёх различных крупномасштабных моделей пятилопастного несущего вертолетного винта, выполненных на гоночной площадке и в аэродинамической трубе.

19.05-01.48 О направленности излучения шума струи, полученной разными методами измерений. *Храмцов И.В., Черенкова Е.С., Ершов В.В., Кустанов О.Ю. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 55-56. Рус.*

Идентификация источников шума является актуальной задачей аэроакустики, решение которой позволяет продвинуться в развитии методов снижения шума современного самолета. Одним из наиболее эффективных методов анализа источников шума является метод азимутальной декомпозиции (МАД) и бимформинг. Данные методы могут быть отработаны на модельной турбулентной струе. Исследование проводилось в акустической заглушенной камере Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) на струйной установке. Для подачи воздуха в струйной установке используются два последовательно соединенных вентилятора, мощностью 45 кВт каждый. Данный способ позволяет подавать непрерывно воздух в течении длительного времени при практически максимальном расходе, а также имеет минимальное время подготовки к испытаниям. Для снижения собственного шума вентиляторов предусмотрена система глушителей. Для измерения средних параметров скорости модельной струи использовалась трубка Пито—Прандтля. Для реализации МАД при исследовании шума струи в Лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа создана микрофонная решетка, адаптированная под особенности струйной установки: ось решетки расположена на высоте 2.5 м (где находится ось сопла струйной установки); радиус решетки равен 0.85 м (для сравнения результатов с подобной установкой в ЦАГИ). С помощью созданной микрофонной решетки проведены измерения шума струи на разных расстояниях от среза сопла и получена информация о направленности азимутальных мод в турбулентной струе. Для получения дополнительной информации о положении источника, создаваемого струйной установкой ПНИПУ, применялся метод локализации источника шума на основе плоского бимформинга. Измерения выполнялись 9-лучевой 54-микрофонной решеткой Brüel & Kjær. Полученные результаты направленности мод были нормированы на суммарный уровень шума. Выявлено, что независимо от скорости струи, диаметра сопла и вида сопла (коническое или шевронное) в частотном диапазоне 600—1600 Гц соотношение между амплитудными коэффициентами азимутальных мод и суммарным уровнем шума модельной струи остается постоянным. Исследования выполнены на уникальной научной установке «Акустическая заглушенная камера с аэродинамическими источниками шума», регистрационный номер 500617.

19.05-01.49 Анализ результатов экспериментально-го исследования диаграмм направленности излучения звука из маломасштабной модели воздухозаборника в заглушенной камере АК-2 при различных скоростях спутного и всасывающего потоков. *Копьев В.Ф., Остриков Н.Н., Яковец М.А., Ионов И.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 113-114. Рус.

С помощью численного моделирования проведен анализ эффекта сильной зависимости диаграммы направленности излучения от условий всасываемого в воздухозаборник потока при испытаниях модели в заглушенной камере АК-2. На основе сравнения с аналитическим решением для случая тонких стенок канала при отсутствии потока выполнена верификация численного метода конечных элементов (МКЭ) расчета звукового поля, излучаемого из открытого конца канала с неоднородным потенциальным потоком. Сравнение продемонстрировало отличное совпадение амплитуд в дальнем поле в передней полусфере и отклонение амплитуд не более 1 дБ в задней полусфере в окрестности угла наблюдения 150°. В то же время для ряда излучаемых мод сравнение показало расхождение фазовых характеристик звука в дальнем поле на величину не более 10–15° под углами наблюдения в окрестности максимумов амплитуд диаграммы направленности и значительные отклонения (десятки градусов) под углами наблюдения в окрестности минимумов амплитуд диаграммы направленности. При этом было показано, что указанное различие фаз уменьшалось при уменьшении толщины стенки канала. По результатам верификации сделан вывод о допустимости использования МКЭ в указанных целях. С помощью МКЭ выполнены сравнительные расчеты для случаев моделирования условий испытаний и геометрии использованной модели маломасштабного возду-

хозаборника. Сравнение амплитуд диаграмм направленности в статических (отсутствие спутного потока) и полетных (равенство скоростей спутного и всасывающего потоков 40 м/с) условий показало небольшой эффект — отклонение на величину не более 1.5 дБ. Сравнение разностей фаз между статическими и полетными условиями излучения, которые приобретают различные звуковые моды, имеющие различные азимутальные и радиальные числа, показало сильный эффект — отклонение разностей фаз между различными модами в этих случаях составило десятки градусов. Выявленные особенности позволили объяснить сильный эффект различия диаграмм направленности, полученный в испытаниях в статических и полетных условиях в случае многомодовой генерации звука в канале воздухозаборника: интерференция различных звуковых мод, излученных из воздухозаборника, реализуется в дальнем поле с существенно различными сдвигами фаз в статических и полетных условиях. На основе аналитического решения задачи выполнены расчеты эффективности излучения различных мод как из натурального воздухозаборника в дальнем поле при скоростях потока, характерных для взлетных режимов современных самолетов, так и для испытаний маломасштабной модели воздухозаборника в заглушенной камере АК-2. Показано, что чем больше азимутальное или радиальное число распространяющейся по каналу моды (т. е. чем ближе рассматриваемая частота к частоте отсечки моды), тем меньшей эффективностью излучения она обладает, причем эффективность излучения мод с азимутальными числами $m=7, 8, 9$ может превышать эффективность излучения азимутальной моды с азимутальным числом $m=18$ на величину порядка 20 дБ. Данная особенность объясняет относительно сильный эффект различия диаграмм направленности, полученный в испытаниях в статических и полетных условиях, когда динамики настраивались на генерацию одной доминирующей азимутальной моды, которая содержит только одну распространяющуюся радиальную моду: данная мода обладает низкой эффективностью излучения в дальнее поле, и поэтому в диаграмме направленности присутствует звуковое поле, излученное минорными модами, обладающих большей эффективностью излучения из открытого конца канала, т. е. в дальнем поле наблюдается многомодовое распространение, которое подвержено сильному эффекту различий статических и полетных условий испытаний.

19.05-01.50 Создание и испытания 40-канального генератора вращающихся звуковых мод для проведения исследований распространения шума в полномасштабной модели воздухозаборника авиационного двигателя. *Пальчиковский В.В., Берснев Ю.В., Корин И.А., Бурдаков Р.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 129-130. Рус.

Для проведения экспериментальных исследований в цилиндрическом канале в условиях вращающегося звукового поля в ПНИПУ разработан и изготовлен генератор звуковых мод. Генератор звука состоит из 40 динамиков, расположенных по окружности и соединенных с корпусом генератора через горны с плавно расширяющимся поперечным сечением канала. Дш улучшения согласования импеданса на выходе горнов в канале генератора мод сделано центральное тело. Для контроля уровня звукового давления вблизи динамиков в стенке горнов установлены микрофоны. Генератор собран в заглушенной камере Лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа (ЛМГШМА) ПНИПУ. При проведении испытаний генератора вращающихся мод он был соединен с моделью полномасштабного воздухозаборника с диаметром канала 1.783 м. Модель воздухозаборника состоит из двух корпусов, в один из которых можно устанавливать съемные панели ЗПК для исследования их акустических характеристик в условиях вращающегося звукового поля с контролем генерируемых мод, а также отрабатывать методы идентификации модального состава шума в канале, для чего во втором корпусе расположены 26-микрофонная линейная и 100-микрофонная круговая решетки с оптимизированным расположением микрофонов. Общая комплектация установки составила 182 измерительных канала. Генерация мод проводилась в диапазоне частот 500—4000

Гц. В корпус полномасштабной модели воздухозаборника были установлены жесткостенные панели. По результатам испытаний определено, что генератор вращающихся мод надежно генерирует моды с заданными номерами в диапазоне ± 40 и их комбинации. При этом уровни звукового давления на выходе из канала установки достигают значений 145 дБ. Таким образом, 40-канальный генератор вращающихся звуковых мод имеет лучшие характеристики, чем ранее созданный 30-канальный генератор на основе воздухозаборника ПС-90-А. Исследования выполнены на уникальной научной установке «Акустическая заглушенная камера с аэродинамическими источниками шума», регистрационный номер 500617.

19.05-01.51 Валидация модели низкочастотного шума взаимодействия струи и крыла в условиях спутного потока. *Бычков О.П., Копьев В.Ф., Фараносов Г.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 173-174. Рус.

В последнее время большое число исследований посвящено разработке предсказательных моделей шума взаимодействия струи и крыла, который может быть важен с точки зрения уровней шума самолета на местности. При этом такие модели обычно валидируются на экспериментальных данных, полученных в статических условиях. В то же время, с практической точки зрения, важно, чтобы модель надежно работала в условиях спутного потока, которые соответствуют взлетно-посадочным режимам полета самолета. Сложность валидации моделей в условиях наличия спутного потока двойка. Во-первых, необходимы соответствующие экспериментальные данные по шуму в дальнем поле для конфигурации струя-крыло. Установок, позволяющих получить такие данные, не много. Во-вторых, для «работы» моделей необходимы экспериментальные данные о пульсациях давления в ближнем поле струи. При наличии спутного потока получение таких данных представляет определенную проблему и требует специальных датчиков и/или специальных методов измерений. В работе предложен метод, который можно использовать для оценки низкочастотного шума взаимодействия струи и крыла в условиях полета. Основная идея метода основана на восстановлении осесимметричной моды пульсаций давления ближнего поля с использованием комбинации экспериментально измеренных пульсаций скорости на оси струи и собственных функций возмущений, рассчитываемых в рамках линейной теории устойчивости для заданного среднего поля течения. Параметры первой азимутальной моды определяются по параметрам осесимметричных возмущений. Восстановленные таким образом характеристики ближнего поля затем используются в качестве входных данных в аналитической модели прогнозирования шума взаимодействия струи и крыла. Сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных по шуму взаимодействия струи и плоской пластины показало, что модель адекватно описывает форму спектра шума и его диаграммы направленности для различных чисел Струхала в статических и полетных условиях.

19.05-01.52 Модель мелкомасштабных источников звука в турбулентной дозвуковой струе. *Копьев В.Ф., Чернышев С.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 185-186. Рус.

Разнообразие моделей источников шума струи, используемых в настоящее время в аэроакустике, свидетельствует о том, что механизм генерации шума в турбулентных струях не ясен до сих пор. Не существует общепринятого ответа на вопрос о том, какая составляющая турбулентности несет ответственность за излучение шума струйных течений. Имеющиеся экспериментальные данные по акустике струй и численные расчеты турбулентных течений являются необходимой базой, но сами по себе не могут дать понимания процессов шумообразования. С этой точки зрения важную роль играет создание низкоуровневых моделей, которые обладают меньшей точностью, но которые позволяют выделить важнейшие факторы, ответственные

за излучение звука турбулентностью. В настоящей работе анализ акустического излучения струи опирается на концепцию локального механизма генерации шума квадрупольными источниками. Используемый подход находится в рамках корреляционных теорий источников звука, в котором распространение возмущений описывается детерминированным оператором, а генерация возмущений описывается случайным полем с некоторой эмпирической пространственно-временной корреляционной функцией. Различие используемых в настоящее время корреляционных моделей связано с тем, какие процессы отнесены к генерации возмущений, а какие к их распространению. В настоящей работе выбран оператор распространения, который включает в себя не только звуковые волны в свободном пространстве (аналогия Лайтхилла) и рефракцию акустических возмущений на среднем течении струи (аналогия Голдстейна), но также конвекцию турбулентных возмущений и потерю ими корреляции (концепция синтетической турбулентности Эверта). Включение в оператор распространения максимального числа процессов позволяет минимизировать неопределенность, связанную с эмпирическим моделированием характеристик случайного поля источников и свести эти источники к локальным процессам, имеющим малый пространственный масштаб. Этот подход в совокупности с выбором квадрупольного типа источников позволяет построить простую и эффективную корреляционную модель, позволяющую предсказывать не только мощность звукового излучения струи, но и фазовые характеристики акустического поля. Проводится сравнение модели с акустическими измерениями азимутальных гармоник шума турбулентной струи. Поскольку эти данные содержат ряд характерных особенностей, то они являются хорошей проверкой для разрабатываемых моделей. Для сравнения с экспериментом выбрана низкочастотная часть спектра, поскольку здесь требуется минимальное количество подгоночных параметров. Сравнение показывает хорошее согласие модели с данными измерений трех первых азимутальных гармоник шума струи в дальнем поле в широком диапазоне скоростей струи от 120 до 280 м/с.

19.05-01.53 О возникновении неустойчивости при слиянии собственных частот колебаний вихревого кольца. *Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Акиншин Р.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 190-191. Рус.

Изучение динамики вихревого кольца представляет большой интерес, так как вихревое кольцо позволяет исследовать механизмы образования шума в турбулентных течениях. Этот объект легко может быть создан в опыте для экспериментального исследования и допускает теоретическое описание как стационарных, так и колебательных режимов. В то же время теоретическое изучение динамики вихревого кольца проводилось лишь в приближении тонкого вихревого кольца. Параметр тонкости вихревого кольца определяют, как отношение характерного радиуса сечения ядра вихревого кольца к радиусу вихревого кольца. Из всевозможных течений выделяется движение изохронного вихревого кольца, для которого период обращения жидких частиц внутри ядра вихревого кольца постоянен. Для такого вихревого кольца отсутствуют возмущения непрерывного спектра, что существенно облегчает проведение аналитических расчетов. В этой задаче применяется подход, основанный на использовании поля смещения как основной функции. Для исследования малых колебаний вихревого кольца этот подход использовался в работе, где впервые были правильно описаны бочкообразные моды вихревого кольца, а затем другие колебания. Главной целью данной работы является исследование устойчивости длинноволновых (длина волны порядка размера всего кольца) колебаний тонкого вихревого кольца в идеальной жидкости, в области частот вблизи точки слияния собственных частот бесселевских и изолированных колебаний. Для этого последовательно решались четыре задачи. Первая задача — нахождение стационарного течения тонкого изохронного вихревого кольца в идеальной жидкости. Вторая задача — определение базисных деформаций, представляющих собой отклик вихря на колебания его границы заданной формы и частоты. Третья задача — определение скорости смещения границы вихря при за-

данной деформации области завихренности. Четвертая задача — решение системы алгебраических линейных уравнений для определения частот собственных колебаний. В результате было получено дисперсионное соотношение для определения собственных частот колебаний в более высоком приближении, чем в предшествующих работах обнаружена новая неустойчивость вихревого кольца, которая реализуется в области длинноволновых колебаний.

19.05-01.54 Сопоставление возможных механизмов шумообразования в турбулентных струях. Крашенинников С.Ю., Семенёв П.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 194-196. Рус.

По результатам анализа шумообразования в турбулентных струях можно выделить два основных механизма: образование шума при диссипации турбулентности (потеря энергии за счет акустического излучения) и создание акустических возмущений пульсационным движением среды при распространении струй. Основные положения теории Лайтхилла справедливы, для описания шумообразования как при диссипации энергии турбулентных пульсаций, так и при порождении шума из-за крупномасштабных пульсаций. Первый может быть проанализирован на основе известных экспериментов по исследованию эволюции турбулентности.

19.05-01.55 Модели низкочастотных струйных шумов с температурными эффектами на основе обобщенной акустической аналогии Гольдштейна. Low-order models of dual-stream jet noise with temperature effects based on the Goldstein generalised acoustic analogy. Gryazev V., Markestejn A.P., Karabasov S.A. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 197-200. Англ.

19.05-01.56 Расчетно-экспериментальные исследования аэроакустических характеристик вихревых колец разных диаметров. Копьев В.Ф., Храмов И.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 201-202. Рус.

Вихревое кольцо является хорошо известным объектом газовой динамики. С точки зрения экспериментального исследования излучения шума отдельным вихрем представляют интерес турбулентные высокоскоростные кольца с числом Рейнольдса $Re \sim 10^4 - 10^5$, поскольку шум таких колец удается услышать в специальных заглушенных камерах. Для исследования аэроакустических характеристик вихревых колец в Лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа в Пермском национальном исследовательском политехническом университете (ПНИПУ) создан поршневого генератора с переменным набором сопл, позволяющий создавать кольца различного диаметра с помощью импульсного выталкивания массы воздуха из сопла генератора в заглушенное пространство. Предварительные исследования шума интенсивного вихревого кольца с числом Рейнольдса $\sim 10^4$ в безэховой камере ПНИПУ подтвердили основные параметры, наблюдавшиеся в предыдущих экспериментах: акустическое излучение вихревого кольца сосредоточено в узкой полосе частот, несущая частота пика в спектре смещается со временем в область низких частот и т.д. Для исследуемых тонких вихревых колец ($\mu = a/R \ll 1$) согласно звукообразующими пульсациями являются колебания ядра с частотами, лежащими вблизи значения $\Omega_0/2: \omega t = \Omega_0/2$, где t — номер моды; Ω_0 — значение завихренности в ядре. В работе проводится сравнение частоты излучения звука турбулентными вихревыми кольцами разных начальных размеров. Сравнение с теоретической моделью проводится на значительном участке траектории. При этом для определения параметров вихревого кольца, входящих в формулу используется численное моделирование и автоматическая теория. Для задания граничных и начальных условий при численном моделировании движения вихревого кольца была разработана методика экспери-

ментального определения начальных условий создания вихря с помощью прямого измерения движения поршня. Валидация расчета проводилась путем сопоставления траекторий движения вихрей на начальном участке, полученных численно и во время эксперимента. С помощью автоматической теории можно продлить данные расчета на более удаленные от сопла области и сравнить теоретические и экспериментальные данные частоты пика излучения для различных диаметров сопла при его движении. Экспериментальные значения числа Струхале на различных расстояниях от генератора показывают удовлетворительное согласие с теорией.

19.05-01.57 Исследование шумовых характеристик тандемных цилиндров и исследование методов снижения шума. Tandem cylinder noise characteristics research and advance noise reduction method exploration. Xingqiang Liu, Wenchao Huang, Hao Yan, Hongli Li. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 203-206. Англ.

With the reduction of jet noise associated with high pass ratio engines on large civil transport aircraft. The airframe noise has become a primary noise source during takeoff and landing. A major component of airframe noise is the deployed landing gear. The configuration of landing is very complex; noise originates from the flow separation due to complex buff bodies and the wake flow multiple interactions with downstream components. Tandem cylinder represents generic flow geometry relevant to landing gear. The major interest is the nature of interaction of unsteady wake from upstream cylinder with the downstream cylinder. Wake interactions are expected to have a big impact on the noise generation. Experiment has been performed in this paper to access the noise characteristics, basing on the mechanism of noise generation, some advance control methods, such as plasma and turbulence, were used to reduce the noise.

19.05-01.58 Исследование процесса интенсификации завихренности в течении со сдвиговой неустойчивостью. Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Юдин М.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 207-208. Рус.

Проблема неустойчивости вихревых течений тесно связана с вопросами турбулизации вихревых течений и излучении ими звука. В работе исследуется сдвиговая неустойчивость, которая связана с передачей энергии из критического слоя к колебаниям системы. Такой тип неустойчивости возникает в сложных течениях с криволинейными вихревыми нитями, в частности в вихревом кольце. Исследование этого типа неустойчивости в вихревом кольце сопряжено с большими математическими трудностями в связи со сложностью исследуемого объекта. В работе рассматривается простейшая двумерная система, состоящая из незакрепленного цилиндра, циркуляционного потока вязкой несжимаемой жидкости и цилиндра, ограничивающего область течения. При собственных колебаниях возмущение в жидкости имеет особенность вблизи критического слоя, области в которой фазовая скорость возмущений близка к собственной частотой системы. Для потенциального среднего течения данная особенность возникает только для поля смещения. При наличии профиля завихренности данная особенность возникает и для возмущений завихренности. Для исследования возникновения особенностей из гладких начальных условий была решена задача Коши. В начальный момент времени возмущения отсутствуют: внутренний цилиндр расположен коаксиально внешней границе и ему придается некоторая скорость. Показано, что в районе критического слоя происходит линейный по времени рост возмущений.

19.05-01.59 Описание генерации акустических колебаний вихревыми структурами с использованием точечных групп симметрии. Федосеев С.Ю., Тимущев С.Ф. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019,

с. 209-210. Рус.

Повышенный спрос на лопаточные машины с заданными акустическими характеристиками диктует необходимость разработки новых методик проектирования вентиляторов, насосов, компрессоров и турбин. Важным этапом разработки таких методик является поиск новых подходов позволяющих моделировать источники акустических колебаний. Одной из крупнейших, по мнению авторов, групп источников акустических колебаний являются вихревые структуры. Вихревые структуры могут становиться причиной нестационарных гидродинамических явлений, или являться независимыми источниками акустических колебаний. Один из таких «независимых» источников и рассмотрен в нашей работе. В качестве объекта исследований выбрано вихревое кольцо, имеющее некоторый конечный набор форм колебаний. Классический подход к моделированию динамики такого вихревого кольца предполагает рассмотрение его в терминах завихренности с последующим решением системы уравнений А.А. Фрийдмана. Альтернативой этому подходу является применение системы уравнений Навье—Стокса дополненной уравнениями модели турбулентности. Однако, такие подходы предполагают проведение «прямого» численного моделирования, с затратой значительных вычислительных ресурсов или введения некоторого осреднения, приводящего к потере ряда решений. Предлагаемый в данной работе подход подразумевает использование наличия симметрии у вихревой структуры, в качестве фактора позволяющего упростить моделирование динамики вихревой структуры, так как дает возможность применить аппарат теории точечных групп симметрии к задаче моделирования.

19.05-01.60 Характеристика трехмерной шумовой полости в резонаторе при умеренном числе Рейнольдса. Characterisation of three dimensional cavity noise in moderate Reynold number. *Chao Wang, Qiang Peng, Qian Wen. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 217-222. Англ.

19.05-01.61 Исследование воздействия акустического излучения крупномасштабных когерентных структур на отклик и долговечность плоских полигональных пластин. *Денисов С.Л., Медведский А.Л. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 225-226. Рус.

Рассматривается задача взаимодействия акустического излучения крупномасштабных когерентных структур типа волн неустойчивости с плоской упругой полигональной пластиной, описываемой в рамках теории Кирхгофа. Волны неустойчивости рассматриваются в качестве элементарных источников звука и представляют собой гармонические по времени колебания струи, описывающиеся с помощью волновых пакетов. Для упругой пластины, подвергавшейся акустическому воздействию со стороны волн неустойчивости, получены явные выражения, позволяющие вычислить напряженно-деформированное состояние, а также оценить долговечность с помощью различных теорий при произвольных условиях закрепления пластины по контуру. В качестве основного объекта исследования рассматривается являющаяся элементом обшивки планера летательного аппарата плоская полигональная пластина неканонической формы, которая расположена в бесконечном, акустически жестком экране, разделяющем акустическую среду на верхнее и нижнее полупространства. Источником звукового воздействия на пластину является шум, излучаемый высокоскоростной струей, описываемой с помощью развивающихся вниз по потоку пакетов волн неустойчивости — экспериментально подтвержденных крупномасштабных когерентных структур. В данной работе волны неустойчивости рассматриваются в качестве элементарных источников звука и представляют собой гармонические по времени колебания струи, описывающиеся с помощью волновых пакетов. Суммарный шум струи находится как стохастическая сумма вкладов различных волн неустойчивости. Определения формы волнового пакета опирается на тот факт, что среди всех возможных воз-

мущений на начальном участке струи происходит выделение пространственно неустойчивых возмущений (волн неустойчивости), амплитуда которых экспоненциально растет вниз по потоку (неустойчивость Кельвина—Гельмгольца) до тех пор, пока слой смешения остается достаточно тонким. Тем самым, эволюция возмущений в струе определяется не всей бесконечной совокупностью собственных колебаний струи, а лишь ее малой частью — волнами неустойчивости. С помощью численно-аналитического метода, предложенного в работе *Kopiev V.F., Chernyshev S.A., Zaitsev M.Yu., Kuznetsov V.M. “Experimental validation of instability wave theory for round supersonic jet” // AIAA Paper 2006-2595.* Проведены расчеты, демонстрирующие влияние излучения звука на напряженно-деформированное состояние пластины, её долговечность; построены диаграммы напряженности излучения звука пластиной с различными упругими характеристиками и различными условиями закрепления по контуру. Показано, что разработанный метод расчета отклика и долговечности плоских полигональных пластин допускает обобщение на случай воздействия шума высокоскоростных струй, что позволяет провести оценочные расчёты напряженно-деформированного состояния и долговечности пластин с учетом эффекта переизлучения звука.

19.05-01.62 Два подхода к численному моделированию акустических полей, генерируемых подвижными телами. *Абалакин И.В., Вершков В.А., Жданова Н.С., Козубская Т.К. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 273-274. Рус.

При решении задач по снижению шума, производимого авиационной техникой, автомобилями и другими устройствами, метод математического моделирования может рассматриваться как эффективное средство исследований в дополнение к физическому эксперименту и теоретическим оценкам. При моделировании течения вокруг тел, движущихся с переменной скоростью, в методике численного моделирования необходимо включать специальные подходы для воспроизведения движения или, как минимум, его учёт. В последнем случае можно использовать математическое описание в неинерциальной системе отсчёта, связанной с движущимся препятствием, что позволяет работать на неизменной расчётной сетке. Однако эта технология неприемлема в общем случае, когда рассматривается система из двух и более тел, движущихся с разными скоростями или одно из которых неподвижно относительно других. В работе рассматриваются два других подхода, основанных на методе погруженных границ и методе деформируемой сетки.

19.05-01.63 Исследование течения и шума струи, истекающей из двухконтурного модельного сопла CoJeN, с помощью RANS/ILES-метода. *Аюпов Р.Ш., Бендерский Л.А., Любимов Д.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 280-281. Рус.

С помощью RANS/ILES-метода высокого разрешения было рассчитано истечение затопленной струи из модельного двухконтурного сопла, для которого в проекте «Computation of Coaxial Jet Noise» (CoJeN) получен массив экспериментальных данных по распределению параметров течения в струе и её акустических характеристик для различных режимов истечения.

19.05-01.64 Численное моделирование распространения звуковой волны в типичном поле потока. Numerical simulation of sound wave propagation in typical flow field. *Yimin Wang, Shuhai Zhang. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 284-285. Англ.

It is presented the numerical studies of sound waves propagating in typical flow structures including shock wave, vortex and mixing layer through solving Euler equations and Navier—Stokes equations. The distortion characteristics of wave propagation in

these typical flow structures are revealed. The spatial derivatives are discretized by a fifth-order WENO scheme for supersonic case or a sixth-order compact scheme for subsonic case. Time integration is performed by a third-order TVD Runge—Kutta method. The linear Euler equations and nonlinear Euler equations for sound propagating through flow are derived based on Navier—Stokes equations.

19.05-01.65 Моделирование шума от крыла самолёта с механизацией. *Горобец А.В., Дубень А.П., Козубская Т.К., Родионов П.В., Цветкова В.О.* Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 286-287. Рус.

Современные вихреразрешающие подходы к моделированию турбулентных течений позволяют более точно по сравнению с решением осреднённых уравнений Навье—Стокса (RANS) предсказывать интегральные свойства (подъёмная сила, сила сопротивления, моменты и др.) крыловых профилей, а также получать их нестационарные аэродинамические и аэроакустические характеристики. Тем не менее, применение таких методов в индустриальных приложениях ограничено их высокой вычислительной стоимостью, обусловленной, в первую очередь, необходимостью корректного численного воспроизведения явлений разных пространственных и временных масштабов. Целью настоящей работы является поиск путей снижения вычислительной стоимости предсказания аэродинамических и аэроакустических характеристик крылового профиля с механизацией.

19.05-01.66 Задача бимформинга в вычислительном эксперименте: постановка и верификация. *Дубень А.П., Козубская Т.К., Плаксин Г.М., Родионов П.В., Софронов И.Л.* Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 294-296. Рус.

В аэроакустике под бимформингом понимают технологию обработки сигнала, позволяющую определить пространственное расположение акустического источника, а также его мощность и спектральный состав на основе данных, полученных на расположенных вдали микрофонах. При этом источник восстанавливается на некоторой искусственно заданной сетке, покрывающей предполагаемую зону генерации акустического излучения. В современных экспериментальных исследованиях бимформинг представляет собой мощное средство, предоставляющее информацию исключительно практической значимости с точки зрения разработки малошумных конструкций летательных аппаратов. В последние годы можно отметить рост количества работ по аэроакустическим исследованиям с использованием бимформинга. Большая часть этих работ посвящена бимформингу в натуральных и трубных экспериментах. Работ, использующих бимформинг при проведении численного моделирования, не так много. Практически все из них, в той или иной степени, повторяют экспериментальную технологию и используют те же программные продукты, которые применяются при обработке измерений в физическом эксперименте. В данной работе предпринята попытка поставить математическую задачу определения акустического источника и его спектральных свойств в более общем виде, опираясь на возможности сбора и представления данных, получаемых в ходе численного моделирования.

19.05-01.67 Расчет пульсаций давления на поверхности ракеты космического назначения. *Аблакин И.В., Бобков В.Б., Дубень А.П., Козубская Т.К., Рыбак С.П.* Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 297-298. Рус.

Одной из важных задач проектирования ракет космического назначения (РКН) является оценка пульсаций давления на внешних поверхностях надкалиберной космической головной части (КГЧ) и прилегающей части ракеты-носителя (РН). На этапе выведения при трансзвуковых и сверхзвуковых режимах

обтекания эти поверхности подвергаются воздействию интенсивных пульсаций давления. Около РКН формируется сложное турбулентное течение, характеризующееся наличием локальных отрывов потока и ударных волн, взаимодействующих со слоями смешения и с турбулентным пограничным слоем. Численное моделирование такого рода задач является достаточно сложным и трудоемким процессом и может проводиться только с помощью современных вихреразрешающих подходов, оптимальным образом сочетающих высокую точность и приемлемую ресурсоемкость. Проведены расчеты обтекания РКН с пилотируемым транспортным кораблем (ПТК) и пульсаций давления на обтекателе двигательного отсека ПТК и на прилегающей части РН. Рассматриваются трансзвуковые и сверхзвуковые режимы обтекания (характерные числа Маха от 0.8 до 1.3). Числа Рейнольдса, рассчитанные по длине КГЧ, составляют около 10^9 . Численное моделирование выполнено с помощью вихреразрешающего гибридного RANS-LES подхода IDDES. Для расчетов используется адаптивный численный метод повышенной точности, реализованный в программном комплексе NOISEtte. Турбулентные пульсации на входе в IDDES-область задаются посредством генератора синтетической турбулентности. В докладе приводятся результаты расчетов и анализа пульсационных воздействий на ОДО, а также их сопоставления с имеющимися данными измерений при испытаниях модели КГЧ в аэродинамической трубе ЦАГИ.

19.05-01.68 Прогноз шумоизлучения от неоднородностей обтекаемой поверхности. *Суворов А.С., Кальясов П.С., Коротин П.И., Соков Е.М., Артемьев В.В.* Труды Крыловского государственного научного центра. 2019, № 3, с. 150-156. Рус.

Объект и цель научной работы. Численное прогнозирование характеристик гидродинамического шума, возникающего при взаимодействии потока с неоднородностями обтекаемой поверхности. Материалы и методы. Задача решается с использованием гибридных методов численного моделирования турбулентности и прямого моделирования рассеяния псевдозвукового поля квадрупольных источников. Основные результаты. Выполнен анализ характеристик направленности и интенсивности шумоизлучения, предложена физическая интерпретация протекающих процессов, продемонстрирована адекватность акустических характеристик для различных режимов течения. Заключение. Результаты работы могут быть использованы в акустическом проектировании малошумного гидравлического оборудования.

19.05-01.69 Поправка. *Известия РАН. Механика жидкостей и газа.* 2019, № 5, с. 150. Рус.

В статье Х.Ф. Валиева и А.Н. Крайко "Истечение идеального газа из цилиндрического или сферического источника в пустоту" (Изв. РАН. МЖГ. 2018. № 5. С. 17-28) исправления: на стр. 19 в формулах (1.3); на стр. 20 в уравнениях (2.1). Все результаты статьи получены с использованием правильной формулы и уравнения.

19.05-01.70 О точности разностных схем при расчёте взаимодействия ударных волн. *Остапенко В.В., Хандеева Н.А.* Доклады академии наук. 2019. 485, № 6, с. 691-696. Рус.

Изучается точность, с которой разностные схемы сквозного счёта рассчитывают течения, в которых происходит взаимодействие ударных волн. Показано, что в областях между расходящимися ударными волнами после их соударения точность вычисления инвариантов в комбинированных схемах на несколько порядков выше, чем в WENO-схеме пятого порядка по пространству и третьего порядка по времени.

Численные методы, компьютерное моделирование

19.05-01.71 Асимптотическая модель учета влияния неоднородности потока на структуру звукового поля в канале на основе метода секулярных уравнений в сингулярной теории возмущений. *Остриков Н.Н.* Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентяб-

ря 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 117-118. Рус.

Разработана асимптотическая теория для описания распространения звука в прямоугольном канале с произвольным трехмерным плоскопараллельным потоком при наличии одной импедансной стенки. Общая постановка задачи соответствует случаю распространения звуковых волн в секциях установки типа «Интерферометр с потоком». В качестве основы для построения математической модели распространения звука в канале рассмотрены линеаризованные уравнения Эйлера для основного трехмерного плоскопараллельного воздушного потока с произвольным профилем скорости в поперечном сечении канала, причем скорость основного потока удовлетворяет условию прилипания на стенках канала. Из-за условия отсутствия скольжения основного потока на стенках канала для линейных возмущений рассматривается обычное граничное условие с локально реагирующим импедансом.

19.05-01.72 Расчетное исследование возможностей реактивного воздействия на распространение звука в аэродинамических каналах. Александров В.Г., Осипов А.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 123-124. Рус.

Разработаны математическая модель и расчётный комплекс, предназначенные для проведения вычислительного эксперимента и расчетного исследования в задачах аэроакустики для трехмерных нестационарных течений газа со сложной топологией расчётной области и нестандартными граничными условиями. Численная схема, применяемая в составе расчетного комплекса, реализована на неструктурированной сетке, включающей в себя расчетные ячейки тетраэдральной, пирамидальной, призматической и гексаэдральной конфигурации. Продемонстрированы высокие технологические возможности созданного расчетного комплекса, позволяющие моделировать трехмерные акустические поля в составных каналах с источниками акустического сигнала сложной модальной структуры, с присоединенными резонансными полостями различной конфигурации и активными элементами, осуществляющими контролируемое глушение распространяющегося в канале звукового сигнала. Проведено расчетное исследование физических механизмов и особенностей воздействия присоединенных резонансных полостей различной конфигурации на распространяющийся в канале модальный звуковой сигнал с целью контролируемого снижения его интенсивности. Резонансные свойства полости варьируются за счет изменения ее глубины и установки в ней перегородок по нормали к оси канала, что обеспечивает контроль за условиями отсечки той или иной моды собственных колебаний газа. Установлена важная роль четвертьволнового резонанса, обеспечивающего условия для радикального (до 100%) отражения и мультимодального рассеяния звукового сигнала в канале в том случае, если ширина проемов между перегородками исключает возбуждение всех мод выше поршневой моды. Проведен анализ физического содержания и возможностей реализации концепции «антизвук» применительно к проблеме активного контроля распространения модального звука в газовых трактах. Продемонстрирована эффективность одной из возможных схем применения «антизвука» для глушения модального акустического сигнала в канале. Выполненные расчеты показывают, что может быть достигнуто практически полное глушение исходного сигнала за счет его частичного отражения и мультимодального рассеяния. Реализация трехмерного «антизвука», вообще говоря, требует специального выбора взаимной ориентации волновых векторов звукового сигнала, подлежащего глушению, и «антизвука». Разработана вычислительная модель, имитирующая работу активного устройства в виде акустических излучателей, установленных на стенках канала и осуществляющих блокирующее воздействие на распространяющийся в канале звуковой сигнал. Продемонстрированы возможности системы активного контроля данного типа применительно к двумерному и трехмерному звуковому сигналу (глушение до 100%). Особенность данного метода активного контроля состоит в том, что основная часть энергии сигнала при его глуше-

нии не рассеивается, а отводится самим активным устройством. Установлено, что трехмерный звуковой сигнал труднее поддается активному контролю, хотя и в этом случае эффект глушения в рассмотренных примерах оказывается значительным (до 85%). В результате проведенного исследования установлена зависимость эффективности данной активной системы от протяженности зоны активного воздействия и размеров дискретных активных элементов, из которых формируется это воздействие. Результаты проведенных вычислительных экспериментов демонстрируют принципиальные возможности и перспективность применения присоединенных резонансных полостей и активного контроля для снижения интенсивности распространяющегося в канале модального звукового сигнала. Для оценки реальной эффективности применения активного контроля для глушения модального шума в проточных каналах авиационного двигателя требуется серьезное усложнение постановки вычислительного эксперимента в отношении учета влияния потока газа, реальной конфигурации каналов и существенно более сложной пространственно-временной структуры акустических полей.

19.05-01.73 О валидации программного комплекса NOISEtte применительно к расчету акустических полей. Аблакин И.В., Бахвалов П.А., Бобков В.Г., Козубская Т.К. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 271-272. Рус.

Задачи, которые приходится решать при математическом описании и моделировании течения вблизи винта вертолёта, а также генерации этим взаимодействием акустических возмущений и их распространения, исключительно сложные из-за необходимости учёта многочисленных взаимовлияющих факторов и требуют серьёзных разносторонних исследований. Разработка достоверной вычислительной методики, позволяющей проводить численное моделирование таких задач, требует тщательной верификации и валидации путём сравнения как с результатами, полученными в натуральных экспериментах, так и с результатами, полученными с использованием сторонних программных пакетов. В работе для подтверждения корректности разработанной авторами численной методики моделирования обтекания вращающегося винта вертолёта рассматривается ряд задач и, в частности, проводится моделирование течения около жёсткого модельного двухлопастного несущего винта на режиме осевого обтекания.

19.05-01.74 Расчет вихревого течения разрывным методом Галёркина высокого порядка точности. Босняков И.С., Волков А.В., Судаков Г.Г. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 288. Рус.

Рассматривается вопрос численного моделирования вихревого следа за самолётом. В расчётной области ставится задача для уравнений Навье—Стокса. В качестве начального условия используется суперпозиция поля скорости вихрей за самолётом и поля скосов фоновой турбулентности атмосферы. На границах задаётся условие с распределением скорости от пульсаций турбулентности. Это делается с целью поддержания нужной интенсивности пульсаций внутри расчётной области. Задача решается численно схемой Галёркина высокого порядка точности с разрывными функциями в рамках метода крупных вихрей. Качество расчёта обеспечивается корректным подбором параметров для расчётной задачи. Густота расчётной сетки выбирается из решения модельной задачи об эволюции одного вихря. В результате выяснено, сколько ячеек требуется поместить в ядро вихря для обеспечения необходимой точности расчета. В работе обсуждается моделирование турбулентности с использованием схемы Галёркина. В этой связи показано влияние качества задания начальных условий на получаемое решение. Рассматривается вопрос о выборе схемы для аппроксимации конвективных потоков на границах ячеек. В заключение приводятся оценки вычислительных затрат расчётной задачи, обеспечивающей требуемую точность расчётов. Задача об эволюции вих-

ревого следа решается на суперкомпьютере МГУ с помощью схемы 4-го порядка точности и на кластерах НИО-2 с использованием схем 2-го и 3-го порядка точности. В работе показано, насколько изменяется точность описания структуры вихрей и физическая картина эволюции следа в зависимости от использованной численной схемы.

19.05-01.75 Использование гибридных сеток для расчета аэродинамических и акустических характеристик элементов силовых установок. Федорченко Ю.П., Шорстов В.А., Макаров В.Е. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 292-293. Рус.

Представлены результаты расчетного исследования с помощью разрабатываемого в ЦИАМ нового численного метода аэродинамических и акустических характеристик элементов силовых установок с использованием т.н. гибридных сеток.

19.05-01.76 Численное моделирование задач аэродинамики со статической адаптацией сетки под особенности решения. Стручков А.В., Козельков А.С., Жучков Р.Н., Уткина А.А., Саразов А.В. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. 2019, № 2, с. 55-67. Рус.

Представлено описание алгоритма численного решения задач аэродинамики, основанного на выделении областей ударных волн и последующем измельчении в них расчетной сетки посредством метода адаптивно-встраиваемых сеток. Применяемый метод основан на дроблении ячеек за счет добавления новых узлов на грани. Выделение области ударных волн для адаптации осуществляется с использованием критерия на основе градиента давления и градиента плотности. Предлагаемый алгоритм реализован на произвольных неструктурированных сетках и ориентирован на конечно-объемную дискретизацию системы уравнений Навье—Стокса. Применение алгоритма демонстрируется на задачах о трансзвуковом обтекании профиля NASA0012 и сверхзвуковом обтекании клина. Показано, что использование предложенного метода адаптивных сеток существенно улучшает качество численного решения, полученного на грубых сетках.

19.05-01.77 Математическая модель акустических волн в ограниченной области с «белым шумом». Бычков Е.В., Соловьёва Н.Н., Свиридюк Г.А. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2019. 11, № 3, с. 12-19. Рус.

Представлен новый взгляд на классическую задачу о распространении акустических волн в ограниченной области с постоянной фазовой скоростью. Классическая постановка формулируется в детерминированных пространствах, а в данной работе — в пространствах K -«шумов». Исследуется начальнокраяевая задача для неоднородного стохастического гиперболического уравнения. Начальные данные являются случайными K -величинами, а функция неоднородности — случайным K -процессом в абстрактной постановке. При рассмотрении приложения функция неоднородности задается как «белый шум». В работе под термином «белый шум» понимается первая производная в смысле Нельсона—Гликлиха винеровского K -процесса. Данную задачу можно считать обобщением классической, поскольку производная Нельсона—Гликлиха от детерминированной функции совпадает с классической производной. Результаты, полученные для абстрактного детерминированного гиперболического уравнения, переложены на стохастический случай. Абстрактные результаты применяются к математической модели распространения акустических волн в ограниченной области из R^n с гладкой границей с неоднородностью в виде «белого шума».

19.05-01.78 Численное исследование взаимодействия двух деформируемых пузырьков в акустическом поле. Питюк Ю.А., Гумеров Н.А., Абрамова О.А., Зарафутдинов И.А., Азатов И.Ш. Прикладная механика и техническая физика. 2019. 60, № 4, с. 81-90. Рус.

С использованием метода граничных элементов для потенциальных течений исследуется трехмерная деформация двух

пузырьков и пузырьков в кластере в идеальной несжимаемой жидкости под действием акустического поля. Изучается зависимость динамики двух взаимодействующих пузырьков от частоты и амплитуды акустического поля, расстояния между ними. Определены значения параметров акустического поля и кластера, при которых образуются струи, пузырьки деформируются или остаются сферическими. Исследуется поведение двух центральных пузырьков в структурированном кластере под действием акустического поля с различными частотой и амплитудой в зависимости от расстояния между пузырьками кластера. Проведен сравнительный анализ процесса деформации.

См. также 19.05-01.31, 19.05-01.33

Методы измерений и инструменты

19.05-01.79 Лучевая антенна с возможностью быстрой перенастройки по числу каналов и координатам микрофонов. Ершов В.В., Пальчиковский В.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 57-58. Рус.

Целью работы является разработка оптимизированной конструкции микрофонной антенны для измерения источников шума и проведение сравнительных испытаний созданной антенны и антенны подобного класса от производителя Bg÷uel&Kjærg (Дания). В работе описаны результаты отработки поиска оптимального расположения микрофонов, обеспечивающего максимальный динамический диапазон локализации источников шума в заданном диапазоне частот. Разработан алгоритм проведения оптимизации распределения микрофонов в плоской антенне. Написан соответствующий программный код с графическим интерфейсом. Оработка методов оптимизации позволила установить, что для обеспечения наилучшей разрешающей способности апертура антенны должна быть максимальной. Это достигается максимально удаленным от центра антенны расположением микрофонов. По отработанному алгоритму выполнено проектирование оптимизированной 9-лучевой 54-микрофонной антенны с увеличенной апертурой. После чего была разработана конструкция антенны, позволяющая изменять количество микрофонов и их положение по угловой и радиальной координате с точностью до 1° и 1 мм соответственно. Проведены испытания изготовленной оптимизированной антенны по измерению шума стационарных источников, а также шума чистой турбулентной воздушной струи в акустической заглушенной камере ПНИПУ. Также выполнены измерения шума указанных источников с помощью 9-лучевой 54-микрофонной антенны Bg÷uel&Kjærg. Представлены результаты обработки полученных в экспериментах данных по шуму стационарных источников и шуму струи. Обработка проведена в разработанном программном продукте. В основе обработки лежит процедура локализации источников шума методом Cross-spectral Beamforming. Сопоставление результатов обработки измерений шума показало, что созданная оптимизированная антенна по сравнению с антенной Bg÷uel&Kjærg позволяет лучше локализовывать источники шума во всем интересующем диапазоне частот, что выражается в более компактной области локализации звуковых источников на карте. На высоких частотах, в тех случаях, когда уровень паразитного шума сопоставим с уровнем излучения основного источника шума, оптимизированная антенна дает менее зашумленную карту локализации. Исследования выполнены на уникальной научной установке «Акустическая заглушенная камера с аэродинамическими источниками шума», регистрационный номер 500617.

19.05-01.80 Акустическая локализация источников шума микрофонными антеннами. Панов С.Н. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 62-63. Рус.

Решение задач прикладной акустики требует частотной, временной и пространственной локализации источников шума.

При исследовании шумообразования все большее применение находит использование портативных микрофонных антенн, использующих встроенные MEMS микрофоны с миниатюрными цифровыми усилителями с непосредственным вводом данных в ПК по USB портам. В докладе приводится обзор используемых в настоящее время систем локализации шума на основе микрофонных решеток, особенности конфигурации, основные параметры, специализированное программное обеспечение, алгоритмы обработки данных и основные применения. Приводятся особенности двух систем локализации источников на основе использования MEMS микрофонных антенн.

19.05-01.81 Исследование локализации и количественной оценки источников шума с использованием калибровки приточного динамика. A study of the localization and quantification of noise sources using an inflow-speaker calibration. *Zhang Jun, Wang Xunian, Chen Zhengwu, Zhang Junlong. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 64. Англ.

Aeroacoustic tests are preferred to be performed in open-jet wind tunnels. Shear layer causes phase and amplitude distortion of sound during the propagation of sound from the inside to the outside of open-jet flow. The phase and amplitude of sound must be corrected for accurate localization and quantification of sound sources using a microphone array. In this study, a new method of correcting shear-layer effect is proposed. The transfer function of sound is obtained using an inflow-speaker calibration. The cross-spectrum matrix of the measured sound pressure is then corrected according to the transfer function, which is later used as an input for the noise map generation using beamforming. Experiment studies were performed in the 0.55m by 0.4m aeroacoustic wind tunnel in China Aerodynamics Research and Development Center. A comparison study was made between the present method and the traditional shear-layer correction method, e.g., Amiet's method. More accurate estimation of the location and amplitude of noise source were obtained using the proposed method.

19.05-01.82 Укрощенное эхо: к 30-летию создания акустического стенда АК-11. *Зверев А.Я. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 239-240. Рус.

Испытания на стенде АК-11 можно проводить не только используя проемы между камерами, но и в отдельных изолированных камерах.

19.05-01.83 Акустическая охранная система. *Зябиров А.Х., Плеваков А.Н. Труды международного симпозиума "Надежность и качество".* 2019, № 2, с. 52-54. Рус.

Разработан макет акустической охранной системы. С целью создания высокочувствительного датчика акустических волн и организации радиоканала для обеспечения симплексной связи. Для передачи на расстоянии информации. Данная система является эффективной заменой проводным системам. Разработанный комплекс также можно применять в охранных системах, в промышленной автоматике, телеметрии, медицине, автомобильной промышленности и других сферах.

19.05-01.84 Моделирование пьезокерамических датчиков быстропеременных процессов. *Баринев И.Н., Ташишев С.Р. Инженерная физика.* 2019, № 6, с. 9-15. Рус.

Представлен вывод модели пьезокерамического датчика быстропеременных процессов, построенной в математическом виде и основанной на структурной функциональной и математической функциональной моделях датчика. Рассмотрены вопросы, касающиеся метрологических характеристик пьезоэлемента, вывод функции преобразования пьезоэлемента, определения структуры образования погрешности, определение составляющих систематической погрешности от влияющих факторов. Разработанная метрологическая модель является важным этапом разработки и исследований как самих датчиков, так и информационно измерительных систем на их основе, позволяя обеспечить информационно энергетическую и фи-

зическую совместимость последних. Метрологическая модель позволяет установить связи между погрешностями датчика в целом и погрешностями его отдельных звеньев, обеспечивая информационно-энергетическую и физическую совместимость между ними.

19.05-01.85 Распознавание объектов и определение дистанции по эталонам базы данных спектров сигналов. *Шейнман Е.Л. Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2019. 12, № 2, с. 20-26. Рус.

Рассматривается совместное распознавание объекта и определение дистанции методом сравнения спектральной плотности давления шумового сигнала, наблюдаемого на определенной дистанции объекта, с эталонными спектральными плотностями давления шумовых сигналов объектов, хранящимися в базе данных. Решение задачи основано на минимизации меры близости между обнаруженным сигналом и эталонными, хранящимися в базе данных спектров сигналов. В статье проведен анализ основных известных методов оценки дистанции в режиме шумопеленгования и проведен сравнительный анализ различных мер близости для решения задач распознавания и оценки дистанции обнаруженного морского объекта. Рассматривались наиболее характерные меры, отражающие специфику различных видов расстояний: подобности и расстояния для числовых данных (Ружечки, Брея—Кёртиса, Канберры, Кульчинского), аналога Евклидова расстояния (Евклидова метрика, метрика Манхэттена, расстояние размера Пенроуза, расстояние формы Пенроуза, Лоренцевское расстояние, расстояние Хеллинджера, расстояние Минковского, расстояние Махаланобиса или статистическое расстояние), корреляционные подобности и расстояния (корреляция Пирсона, подобность Орчини, нормированное скалярное произведение). Показана низкая эффективность корреляционных и ковариационных мер близости и целесообразность использования для решения рассматриваемой задачи разностных мер близости - аналогов Евклидова расстояния. Показано, что значения этих мер близости сильно зависят от уровня шумности объекта, что определяет необходимость сравнения измеренного сигнала и эталонных сигналов различных уровней шумности (построения сетки по шумности). Определены перспективные направления дальнейших исследований.

19.05-01.86 Экспериментальные акустические измерения на песчаных неконсолидированных образцах, содержащих гидрат метана. *Фокин М.И., Дугаров Г.А., Дучков А.А. Ученые записки физического ф-та МГУ.* 2019, № 4, <http://uzmu.phys.msu.ru/toc/2019/4>. Рус.

Рассматриваются результаты длительного эксперимента по изучению акустических свойств песчаного неконсолидированного образца, содержащего газовый гидрат метана. Эксперимент был разделен на два этапа: поддержание постоянных термобарических условий, соответствующих области стабильности гидрата метана и линейное изменение температуры образца. В результате было обнаружено два эффекта: падение скоростей как продольных, так и поперечных волн при длительной выдержке образца, содержащего гидрат метана, а также температурная зависимость акустических свойств — скоростей. С увеличением температуры наблюдается уменьшение значений скоростей с усилением этого эффекта при приближении к границе зоны стабильности гидрата метана. При длительной выдержке образца за примерно 400 ч скорости продольных и поперечных волн упали на 5.3 и 4.4% соответственно. Данные эффекты могут оказывать существенное влияние на интерпретацию результатов экспериментальных исследований гидрато-содержащих образцов и должны быть учтены в ходе их проведения.

19.05-01.87 Особенности ультразвукового исследования структур с подвижными границами. *Волбуев А.Н. Нано- и микросистемная техника.* 2019. 21, № 7, с. 437-448. Рус.

Рассмотрен принцип ультразвукового исследования органов с подвижными границами. На основе модификации результатов теоретического анализа прохождения и отражения ультразвука от неподвижной границы раздела сред предложен приближенный метод решения задачи. Полученный результат с точностью до малых квадратичных слагаемых позволяет рассчитать отра-

жение и прохождение ультразвука через подвижную границу раздела сред. Проведен анализ резонансных явлений в исследуемой задаче.

19.05-01.88 Использование алгоритма "фокусировка в точку" для безэталонного измерения скорости ультразвука при томографии строительных конструкций из бетона. *Качанов В.К., Соколов И.В., Концов Р.В., Тимофеев Д.В. Дефектоскопия. 2019, № 6, с. 20-29. Рус.*

Отмечено, что в большинстве ультразвуковых томографов бетонных изделий при построении томограмм используют значения скорости объемных (продольных, поперечных) ультразвуковых волн, рассчитанное по легко измеряемой скорости поверхностных волн. Однако в строительных конструкциях, подверженных климатическим или иным воздействиям, состояние структуры бетона на поверхности и в глубине объекта контроля может сильно различаться, что приводит к погрешностям в определении объемной скорости ультразвука и, как следствие, к погрешностям в отображении дефектов и габаритов изделий. С целью повышения точности определения координат дефектов предложен новый безэталонный способ измерения скорости ультразвука в объеме крупногабаритных строительных конструкций с помощью ультразвуковых антенных решеток, использующих при построении томограмм алгоритм «фокусировка в точку» при условии, что в изделии присутствует точечный отражатель (например, технологическое отверстие).

19.05-01.89 Безэталонный метод измерения толщины объекта контроля и скорости продольной и поперечной волны в нем по эхосигналам, измеренным антенной решеткой. *Базулин Е.Г., Вopilкин А.Х. Дефектоскопия. 2019, № 6, с. 40-52. Рус.*

Предложен безэталонный метод определения скорости продольной и поперечной вертикально поляризованной волны и толщины объекта контроля, основанный на сравнении измеренных и рассчитанных эхосигналов, отраженных от границ объекта контроля при использовании антенной решетки на призме с нулевым углом наклона, работающей в режиме двойного сканирования. Приведены результаты численных и модельных экспериментов, подтвердившие работоспособность предложенного метода. С его помощью в модельном эксперименте удалось измерить толщину объекта контроля и скорость продольной и поперечной волны в нем с относительной погрешностью (точностью) около 0,25%. Предложенный метод может быть использован для измерения анизотропных свойств объекта контроля, что может дать информацию о его физико-механических свойствах.

19.05-01.90 Расчет акустического тракта для трещиноподобного коррозионно-механического дефекта. *Жуков А.Д., Григорьев М.В., Данилов В.Н. Дефектоскопия. 2019, № 7, с. 3-11. Рус.*

Для предложенной ранее модели углового отражателя, в основании которого выпуклая цилиндрическая поверхность, предназначенного для имитации трещиноподобных коррозионно-механических дефектов, в приближении геометрической акустики получены формулы акустического внутритрубного инспекционного прибора (ВИП) высокого разрешения. По результатам моделирования показано влияние геометрических характеристик предложенной модели углового отражателя на амплитуду отраженных от его поверхности наклонно падающих поперечных волн в сравнении с регламентированной нормативно-технической документацией моделью углового отражателя, выходящего на плоскую поверхность.

19.05-01.91 Волновое перемешивание в системе подвижных коаксиальных цилиндров. *Ганиев Р.Ф., Ревизников Д.Л., Сузарев Т.Ю., Украинский Л.Е. Доклады академии наук. 2019. 486, № 1, с. 30-33. Рус.*

Представлены результаты компьютерного моделирования перемешивания в системе подвижных коаксиальных цилиндров. Получены детальные пространственно-временные картины протекающих процессов и определены основные структуры в поле течения. На основе анализа особых точек векторного поля скоростей жидкости предложен способ профилирования ротора. Введены числа подобия, использование которых позволяет осуществить переход от лабораторных стендовых устано-

вок к реальным производственным аппаратам.

Колебания распределенных систем, вибрации, структурная акустика

19.05-01.92 Изгиб круглой пластины под действием давления газа. *Ильгамов М.А., Моисеева В.Е. Механика твердого тела. 2019, № 3, с. 76-85. Рус.*

Изучено влияние среднего избыточного давления окружающей среды на линейный и нелинейный изгиб круглой пластины. Разные значения давления газов на обе поверхности пластины образуют поперечную распределенную нагрузку, состоящую из перепада давлений и взаимодействия среднего давления с кривизной срединной поверхности. При малом отношении среднего давления к модулю упругости материала и при большой относительной толщине влияние второй составляющей нагрузки на изгиб мало. При большом отношении среднего давления к модулю упругости и малой относительной толщине это влияние является значительным.

19.05-01.93 Продольные волны Похгаммера—Кри: аномальная поляризация. *Ильяшенко А.В. Механика твердого тела. 2019, № 3, с. 136-146. Рус.*

Анализируются точные решения волнового уравнения Похгаммера—Кри, описывающего распространение гармонических волн в упругом цилиндрическом стержне. Для продольных аксиально симметричных мод впервые проведен спектральный анализ матрицы дисперсионного уравнения. Получены аналитические выражения для поляризации волн. На поверхности стержня для фундаментальной продольной аксиально симметричной моды определены коэффициенты поляризации соответствующих волн и проведен анализ вариации этих коэффициентов в зависимости от частоты. Обнаружено, что при фазовой скорости фундаментальной аксиально симметричной продольной моды, совпадающей со скоростью поперечной волны, происходит одновременное обращение в нуль всех компонент перемещений на боковой поверхности стержня, что представляется исключительно важным для проектирования акустических волноводов.

19.05-01.94 Анализ пространственных колебаний коаксиальных цилиндрических оболочек, частично заполненных жидкостью. *Бочкарёв С.А., Лекомцев С.В., Сенин А.Н. Вычислительная механика сплошных сред. 2018. 11, № 4, с. 448-462. Рус.*

Работа посвящена численному исследованию собственных колебаний горизонтально ориентированных упругих коаксиальных оболочек, кольцевой зазор между которыми полностью или частично заполнен сжимаемой вязкой жидкостью. Решение задачи осуществляется в трёхмерной постановке с использованием метода конечных элементов. Движение жидкости описывается в рамках акустического приближения в терминах потенциала скоростей. Соответствующие уравнения совместно с граничными условиями, отвечающими полному контакту на смоченных поверхностях, преобразуются с помощью метода Бубнова-Галёркина. Гидродинамические усилия находятся из тензора вязких напряжений. Математическая постановка задачи динамики тонкостенных конструкций основывается на вариационном принципе возможных перемещений, в который включены нормальные и тангенциальные компоненты сил, действующих со стороны жидкости на смоченные части упругих тел. При моделировании оболочек предполагается, что их криволинейные поверхности достаточно точно аппроксимируются совокупностью плоских сегментов, деформации которых определяются согласно классической теории пластин. Достоверность полученных результатов подтверждена путём сопоставления с известными из литературы данными для случая, когда весь объём кольцевого зазора заполнен идеальной жидкостью. Оценено влияние степени заполнения жидкостью и размера зазора на собственные частоты и соответствующие им формы колебаний коаксиальных оболочек с различными вариантами граничных условий. Продemonстрировано, что частичное заполнение приводит к расщеплению собственных частот колебаний, причём уменьшение объёма жидкости содействует росту их минимальных значений. Показано, что при некоторой величине зазора

возможно появление смешанных форм колебаний не только в меридиональном, но и в окружном направлении.

19.05-01.95 Тепловые процессы при акустическом воздействии на насыщенную жидкостью пористую среду. Хусайнова Г.Я. Вычислительные технологии. 2019. 24, № 3, с. 117-124. Рус.

Выполнено исследование процесса нагрева трехзонной пористой среды, насыщенной жидкостью, с помощью акустического поля. С учетом того, что основным механизмом, переводящим энергию акустического поля в тепло, является сила вязкого трения между насыщающей жидкостью и скелетом пористой среды, построена функция объемного источника тепла для процесса нагрева пористой среды акустическим воздействием. Исследована зависимость температурного поля от параметров пористой среды и акустического поля.

19.05-01.96 Исследование параметрических колебаний вязкоупругой цилиндрической панели переменной толщины. Абдикаримов Р.А., Ходжаев Д.А., Нормушинов Б.А., Мирсаидов М.М. Вестник МГСУ. 2018. 13, № 11, с. 1315-1325. Рус.

Рассматриваются изотропные вязкоупругие цилиндрические панели переменной толщины, находящиеся под действием равномерно распределенной вибрационной нагрузки, приложенной по одной из параллельных сторон, приводящей (при определенных сочетаниях частот собственных колебаний и возмущающей силы) к параметрическому резонансу. Считается, что под воздействием указанной нагрузки цилиндрические панели допускают перемещения (в частности, прогибы), соизмеримые с их толщиной. На основе классической гипотезы Кирхгофа—Лява построена математическая модель задачи о параметрических колебаниях вязкоупругой изотропной цилиндрической панели переменной толщины в геометрически нелинейной постановке. Выведены соответствующие нелинейные уравнения колебательного движения рассматриваемых панелей (в перемещениях). Предложена методика решения рассматриваемой нелинейной задачи на основе применения метода Бубнова—Галеркина при многочленной аппроксимации перемещений (и прогиба), а также численного метода, использующего квадратурные формулы. В качестве слабо-сингулярного ядра выбрано ядро Колтунова—Ржаницына с тремя различными реологическими параметрами. Результаты. Исследованы параметрические колебания вязкоупругих цилиндрических панелей переменной толщины под воздействием внешней нагрузки. При этом осуществлялся учет влияния на области динамической неустойчивости геометрической нелинейности, вязкоупругих свойств материала, а также других физико-механических и геометрических параметров и факторов (начальных несовершенств формы, соотношений сторон, толщины, граничных условий, коэффициента возбуждения, реологических параметров). Разработаны математическая модель и метод для оценки параметрических колебаний вязкоупругой цилиндрической панели переменной толщины с учетом геометрической нелинейности при действии периодических нагрузок. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами и данными других авторов. Проверена сходимость метода Бубнова—Галеркина.

19.05-01.97 Продольные волны в нелинейной цилиндрической оболочке, содержащей вязкую жидкость. Иванов С.В., Могилевич Л.И., Попов В.С. Труды МАИ. 2019, № 105, с. 1. Рус.

Развивается метод возмущений для исследования волн деформаций в физически нелинейной упругой цилиндрической оболочке с конструкционным демпфированием в продольном направлении, содержащей вязкую несжимаемую жидкость и окруженной упругой средой Винклера. Метод двухмасштабных разложений приводит к обобщенному Р-модифицированному уравнению Кортевега—де Вриза, не имеющему точного решения. Влияние упругой окружающей среды, конструкционного демпфирования, наличие внутри оболочки вязкой жидкости, оценено путем реализации численного решения этого уравнения.

19.05-01.98 Изгибные и параметрические колебания. Пожалоштин А.А., Купоросова И.С. Естественные и технические науки. 2019, № 5, с. 20-23. Рус.

Рассматривается задача о поперечных изгибных колебаниях прямолинейной упругой балки. Изгиб балки считается прямым. Рассматриваются малые колебания этой системы. В реальности данная система может рассматриваться как некоторая мачта и заводская прямолинейная труба. Изложен подход, основанный на методе Граммеля. В теории уравнений математической физики, которая, в том числе, рассматривает методы решения краевых задач с предварительными граничными условиями, существует понятие двойственности. Если в качестве предварительных удовлетворяются геометрические граничные условия (метод Бубнова—Галеркина), то силовые условия будут естественными и наоборот, как в этом случае, а именно, методе Граммеля.

19.05-01.99 Моделирование движения смеси твердых частиц и жидкости в пористых средах с учетом внутренней суффозии. Папин А.А., Сибин А.Н. Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2019, № 4, с. 82-94. Рус.

Рассматривается математическая модель изотермической внутренней эрозии грунта без учета деформации пористой среды. При достижении определенной величины скорости фильтрации происходит вынос частиц грунта из области течения. В качестве математической модели используются уравнения сохранения массы для воды, подвижных твердых частиц и неподвижного пористого скелета, а также аналог закона Дарси для воды и подвижных твердых частиц и соотношение для интенсивности суффозионного потока. Подвижные частицы грунта рассматривались как отдельная фаза, имеющая свою скорость фильтрации, которая определяется в ходе решения задачи. Данное предположение позволило построить замкнутую модель. Предложен алгоритм численного решения начально-краевой задачи фильтрации грунтовых вод с учетом внутренней эрозии грунта и проведены тестовые численные расчеты. Результаты расчетов хорошо коррелируют с экспериментальными данными.

19.05-01.100 Осредненная асимптотическая модель двухфазной фильтрации в трещиновато-пористых средах. Афанасьев А.А. Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2019, № 5, с. 83-92. Рус.

Рассмотрено решение классической в теории фильтрации задачи Баклея—Левретта, обобщенной на случай двухфазных течений в трещиновато-пористых средах. В этом случае несмешивающееся вытеснение жидкостей в пористой среде осложняется отсутствием локального капиллярного равновесия между поровыми пространствами различного масштаба, а решение задачи в случае общего положения не автоматическое. Рассмотрена фильтрация в предельном случае больших масштабов по времени, когда устанавливается капиллярное равновесие, а распределения параметров течения, как показано в работе, стремятся к автоматической асимптотике. Получены осредненные уравнения равновесной фильтрации для эффективной одинарной пористой среды, описывающие данную асимптотику.

19.05-01.101 Анализ изгиба балки Тимошенко с трещиной с использованием нелокальной градиентной теории упругости. Фу Ч., Ян С. Прикладная механика и техническая физика. 2019. 60, № 3, с. 196-206. Рус.

С использованием нелокальной градиентной теории упругости и модели изгибной жесткости трещины предложена модель балки Тимошенко с трещиной, в которой учитываются размеры балки. Получены выражения для изгибающего момента и перерезывающей силы высших порядков, а также аналитическое решение задачи об изгибе свободно опертой балки с произвольным числом трещин, находящейся под действием равномерной поперечной нагрузки. Исследовано влияние нелокального параметра, характерного линейного размера материала, наличия трещины и гибкости балки на поведение балки при ее изгибе. Установлено, что характерный линейный масштаб материала существенно влияет на поведение балки с трещиной при изгибе, в то время как влияние нелокального параметра градиентной теории менее существенно. Показано, что упрочнение и разупрочнение микробалки с трещиной зависят от обоих масштабных параметров, и в том случае, когда эти параметры равны, поведение микробалки при изгибе отличается от поведения

классической балки Тимошенко с трещиной. Установлено, что влияние масштабного эффекта на упрочнение и разупрочнение балки увеличивается с уменьшением гибкости балки.

19.05-01.102 Задача о колебаниях двутавровой балки с закрепленным и шарнирно опертым концами. *Рудяков И.А. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Естественные науки.* 2019, № 3, с. 4-21. Рус.

Исследована задача о периодических по времени решениях квазилинейного уравнения вынужденных колебаний двутавровой балки, один конец которой закреплен, а второй шарнирно оперт. Нелинейное слагаемое и правая часть уравнения являются периодическими по времени функциями. Решение ищется в виде ряда Фурье. Для построения ортонормированной системы изучена задача на собственные значения дифференциального оператора, соответствующего исходному уравнению. При исследовании асимптотики собственных значений задачи осуществлена оценка корней соответствующего трансцендентного уравнения. Получены условия, при которых ядро дифференциального оператора является конечномерным и обратный оператор вполне непрерывен на дополнении к ядру. Доказана лемма о существовании и регулярности решений соответствующей линейной задачи. При доказательстве регулярности исследованы суммы рядов Фурье. Доказана теорема о существовании и регулярности периодического решения, если нелинейное слагаемое удовлетворяет условию нерезонансности на бесконечности. При доказательстве теоремы проведена априорная оценка решений соответствующего операторного уравнения и применен принцип Лере—Шаудера о неподвижной точке. Получены дополнительные условия, при которых найденное в основной теореме периодическое решение единственно.

Волны в многофазных, пористых, резиноподобных средах, полимерах

19.05-01.103 Виброакустика многослойной композитной панели. *Зверев А.Я. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 228-229. Рус.

На стенде АК-11 проведены исследования по определению звукоизоляции и виброакустических характеристик инновационной панели, состоящей из многослойной силовой композитной панели с теплостойким наполнителем, сотовой панели интерьера и матов ТЗИ между стенками. Испытания проведены как с панелью в сборе, так и с ее составляющими — силовой панелью и панелью интерьера. Определена звукоизоляция силовой панели и панели интерьера, а также их виброакустические характеристики: усредненные по поверхности панели уровни виброускорений, полный коэффициент потерь, коэффициенты потерь на излучение в камеру высокого и низкого уровней, акустическая вибровозбудимость, модальная плотность. Показано, что силовая и интерьерная панели в сравнении с композитными панелями сопоставимой массы обладают гораздо худшими акустическими свойствами. Измерена звукоизоляция панели в сборе при различной толщине матов между ее двумя стенками. Определены эффекты влияния матов ТЗИ на звукоизоляцию панели при наличии и при отсутствии панели интерьера. Показано, что наличие жестких связей между стенками приводит к резкому снижению звукоизоляции конструкции и фактически аннулирует положительный эффект матов ТЗИ. Для эффективной работы матов ТЗИ структурные связи между двумя стенками должны отсутствовать, либо их необходимо в максимальной степени ослабить. Определено влияние количества и местоположения точечных связей между стенками на ЗИ конструкции. Для исследования влияния жесткости точечных связей на акустические характеристики конструкции изготовлены и испытаны шпильки с виброизолирующей вставкой. Определена их эффективность и показано, что такие шпильки являются эффективным средством улучшения акустических характеристик конструкции. Исследовано влияние облицовки панели интерьера и силовой панели вибропоглощающим материалом (ВПМ) на звукоизоляцию. Определено, что при наличии жестких связей между стенками облицовка панели интерьера

ВПМ является достаточно эффективной мерой, но ее эффективность меньше эффективности виброизолирующих шпилек. При слабой структурной связи между стенками эффективность облицовки панели интерьера вибропоглощающим материалом резко снижается. Дополнительная облицовка силовой панели ВПМ при наличии матов ТЗИ между стенками не приводит к заметному повышению звукоизоляции конструкции.

19.05-01.104 Численное исследование динамики композитных подкрепленных панелей с межслоевыми дефектами технологического характера при нестационарных воздействиях. *Медведский А.Л., Мартынов М.И., Хомченко А.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 230-231. Рус.

Классическими дефектами в элементах конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) являются: непроклей и расслоение. Такие дефекты относятся к внутренним, так как охватывают внутренние слои композитного пакета. Во многих случаях дефекты могут быть обнаружены только с использованием дорогостоящих средств неразрушающего контроля (в том числе, ультразвуковая дефектоскопия, рентгеновская, токовихревая, оптическая голография, акустический контроль). Особое место в механике композитов занимают задачи о динамическом поведении последних и исследование разрушения панелей с использованием различных критериев. Описывается решение задачи методом конечных элементов (МКЭ) с помощью программного комплекса LS-DYNA с применением явной схемы интегрирования по времени полной системы уравнений МКЭ.

19.05-01.105 Рассеяние энергии при колебаниях неоднородных композитных структур. 1. Постановка задачи. *Паршина Л.В., Рябов В.М., Ярцев Б.А. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия.* 2018, 5, № 2, с. 300–309. Рус.

Предложена математическая модель затухающих колебаний слоистых пластин, образованных конечным числом компонентов в анизотропную структуру произвольно ориентированных ортотропных вязкоупругих слоев конструкционных полимерных композиционных материалов (ПКМ), на одну из наружных поверхностей которой нанесен слой «жесткого» изотропного вязкоупругого полимера. Модель строится на основе использования вариационного принципа Гамильтона, уточненной теории пластин Рейсснера—Миндлина и принципа упруго-вязкоупругого соответствия в линейной теории вязкоупругости. При описании физических соотношений материалов слоев ортотропных конструкционных ПКМ влияние частоты колебаний и температуры окружающей среды считается пренебрежимо малым, в то время как для слоя «жесткого» вязкоупругого полимера учет температурно-частотной зависимости упруго-диссипативных характеристик выполняется на основе экспериментально определенных обобщенных кривых. В качестве частного случая общей задачи путем пренебрежения деформированием срединной поверхности в направлении одной из осей пластины получены уравнения движения балки Тимошенко, на одну из наружных поверхностей которой нанесен слой «жесткого» изотропного вязкоупругого полимера. Минимизация функционала Гамильтона позволяет свести задачу о затухающих колебаниях анизотропных конструкций к алгебраической проблеме комплексных собственных значений. Для формирования системы алгебраических уравнений применяется метод Рунге с использованием многочленов Лежандра в качестве координатных функций. Сначала находятся вещественные решения. Для нахождения комплексных собственных частот системы в качестве их начальных значений используются найденные вещественные собственные частоты.

19.05-01.106 Усредненная модель распространения малых возмущений в конфигурации упругое тело—пороупругая среда для двухскоростного континуума. *Гриценко С.А., Мейрманов А.М. Вестн. МЭИ.* 2019, № 4, с. 127-134. Рус.

Статья продолжает серию работ авторов, посвященных усред-

нению математических моделей, описывающих процессы изотермической акустики в гетерогенной среде с двумя компонентами, разделенными общей границей. Одна из компонент является упругим телом, другая — пороупругой сплошной средой. Пороупругой средой называют упругое тело, пронизанное системой пор, заполненных жидкостью. В качестве исходной модели использована точная математическая модель, полученная на основе классических законов механики сплошной среды. Дифференциальные уравнения модели содержат быстро осциллирующие коэффициенты, появляющиеся в результате перехода к безразмерным переменным. Предполагается, что существуют конечные или бесконечные пределы таких коэффициентов при стремлении к нулю малого параметра ϵ . Авторы полагают малый параметр ϵ равным отношению среднего размера пор к характерному размеру рассматриваемой области, от них зависят не только коэффициенты дифференциальных уравнений, но и геометрия рассматриваемой области. Выведены различные усредненные (предельные) модели с отсутствующими быстроосциллирующими коэффициентами. Для того, чтобы воспользоваться теорией усреднения и известными результатами об усреднении, добавлены упрощающие геометрические предположения о периодичности и связности порового пространства и упругого скелета. Под усредненными моделями понимаются такие краевые задачи для уравнений или систем с относительно медленно меняющимися характеристиками, что решения краевых задач для исходных моделей сходятся (в некотором смысле) к решению соответствующих уравнений для усредненной модели, когда период s рассматриваемой периодической структуры стремится к нулю. В зависимости от характеристик сплошной среды (жидкость вязкая, слабовязкая, сжимаемая, несжимаемая, скелет сильно деформируемый, упругий, абсолютно твердый и т. д.) предельные режимы получаются различными. Исследован один из случаев со слабовязкой жидкостью и слабодеформируемым упругим скелетом в одной области и упругим телом в другой.

Исходная математическая модель достаточно точно отражает реальный физический процесс, однако настолько сложна, что стандартная схема усреднения для нее не работает. Поэтому в качестве основного инструмента использован метод двухмасштабной сходимости. С одной стороны, часто нельзя вычислить предельные режимы модели даже в терминах слабой сходимости, но это возможно сделать в терминах двухмасштабной сходимости. С другой стороны, последовательность решений, как правило, получается ограниченной, но не компактной, и в этом случае слабый предел последовательности не является удовлетворительным приближением к решению исходной математической модели, а предпочтительнее использовать двухмасштабный предел. Для отдельно взятой пороупругой области или для области, занятой упругим телом, результаты представлены ранее в работах авторов. В данном случае изучается совместное движение упругого тела и пористой упругой среды, и основная проблема заключается в выводе условий на общей границе упругой и пороупругой областей. Ключевые слова: композитные среды, периодическая структура, уравнения лапе, уравнения акустики, пороупругость, усреднение периодических структур, двухмасштабная сходимость.

Статистическая акустика

19.05-01.107 Влияние входного виброускорения широкополосной случайной вибрации на амплитудно-частотные характеристики гидроопор. *Гордеев Б.А., Любимов А.К., Озюлков С.Н., Титов Д.Ю., Ермолаев А.И. Вестник машиностроения.* 2019, № 6, с. 22-27. Рус.

Исследованы амплитудно-частотные характеристики гидроопор при воздействии широкополосной случайной вибрации при разных входных среднеквадратичных виброускорениях. Экспериментально определены условия демпфирования вибросигналов гидроопорами.

Нелинейная акустика

См. 19.05-01.1К, 19.05-01.2К, 19.05-01.3К, 19.05-01.4К, 19.05-01.5К, 19.05-01.7К, 19.05-01.9К, 19.05-01.10К, 19.05-01.15К, 19.05-01.19К, 19.05-01.20К, 19.05-01.21К, 19.05-01.22К

Теория нелинейных акустических волн

19.05-01.108 Асимптотика быстро осциллирующих решений обобщенного уравнения Кортевега—де Фриза—Бюргерса. *Каценко С.А. Успехи математических наук.* 2019, 74, № 4, с. 181-182. Рус.

19.05-01.109 Формулы следа для одномерного оператора Штарка и интегралы движения для цилиндрического уравнения Кортевега—де Фриза. *Суханов В.В. Алгебра и анализ.* 2019, 31, № 5, с. 206-215. Рус.

Гостроена полная серия формул следа для одномерного оператора Штарка на всей оси с быстроубывающим потенциалом. Уравнение Штарка связано (L—A) парой с цилиндрическим уравнением Кортевега—де Фриза. Для этого уравнения построена бесконечная серия интегралов движения, которые соответствуют формулам следа для оператора Штарка.

19.05-01.110 Глобальная неразрешимость уравнения Бюргерса с дробной по времени производной. *Торбек Б.Т. Дифференциальные уравнения.* 2019, 55, № 6, с. 883-886. Рус.

Получены достаточные условия несуществования глобальных по времени решений дробного аналога уравнения Бюргерса. Рассмотрены примеры разрушения решения для задачи Коши. Используется метод нелинейной ёмкости Митидиери—Похожаева.

19.05-01.111 Об одной нелинейной задаче разбивающихся волн воды. On a Nonlinear Problem of the Breaking Water Waves. *Kirane M., Torebek B.T. Вестник Южно-*

Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2019, 12, № 2, с. 37-46. Англ.

Настоящая работа посвящена начальной краевой задаче для уравнения Кортевега—де Фриза—Бенджамина—Бона—Махони в конечной области. Эта задача возникает из-за явления длинной волны с малой амплитудой в жидкости. Для некоторых начально-краевых задач для уравнения Кортевега—де Фриза—Бенджамина—Бона—Махони мы получили условия разрушения глобальных решений и решений типа бегущей волны за конечное время. Доказательство результатов основано на методе нелинейной ёмкости. В заключение мы приведем точные и численные примеры.

19.05-01.112 Применение асимптотического анализа для решения обратной задачи определения коэффициента линейного усиления в уравнении типа Бюргерса. *Лукавченко Д.В., Волков В.Т., Нефедов Н.Н., Ягола А.Г. Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия.* 2019, № 2, с. 38-43. Рус.

Асимптотический анализ сингулярно возмущенного уравнения реакция-диффузия-адвекция, называемого в приложениях уравнением типа Бюргерса и имеющего решение с резким переходным слоем, применен для решения коэффициентной обратной задачи определения коэффициента линейного усиления по известной информации о наблюдаемом решении прямой задачи в финальный момент времени. На серии модельных численных экспериментов показана эффективность предложенного подхода.

Распространение интенсивных волн, пилообразные и слабые ударные волны

19.05-01.113 Звуковой удар и связанные с ним про-

блемы нелинейной акустики. *Руденко О.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 17–18. Рус.

Звуковой удар генерируется при движении со сверхзвуковой скоростью. Вблизи обтекаемого тела акустические давления — 3–5 кПа. Форма волны — сложная. Вдали фронты становятся конусами Маха, форма волны (N-импульс) — универсальной. Два ее фронта — слабые ударные волны со скачком давления 100–200 Па. На форму волны влияют особенности трассы. Например, турбулентность атмосферы на высотах порядка сотен м формирует локальные фокусирующие неоднородности. Ниже этого слоя появляются “сверхудары — выбросы давления, вредные для людей и животных. Наряду с N-волной, на местности наблюдаются сглаженные профили, а также сигналы, содержащие пики, осцилляции и другие проявления случайных неоднородностей трассы. Необычные U-волны появляются из-за дифференцирования N-волны после пересечения фокальной области или каустики. Однако за повреждения ответственны не акустические давления (не его уровни в дБ), а градиенты на ударном фронте. Они зависят от ширины фронта, определяются молекулярной релаксацией атмосферных газов, рассеянием и поглощением волны. Известны попытки подавить удар, варьируя формы фюзеляжа. Этот путь не очень продуктивен, поскольку после подавления упадет и подъемная сила. Наши исследования (начало 1990 годов) показали, что перспективно создание экспертной системы для выбора оптимальных режимов и трасс полета в конкретных атмосферных и погодных условиях. Основные факторы, которые должны быть учтены: характеристики полета: скорость, аэродинамика, маневры, маршрут; атмосфера: стратификация, турбулентность, ветер, влажность, молекулярный состав; волна: нелинейность, дифракция, рефракция, рассеяние, поглощение, релаксация; местность: рельеф, акустические свойства границ, импульсный отклик, проникновение в океан и грунт; воздействие на организмы (людей, морских и сухопутных животных), а также строения и технику. Кратко описан математический аппарат (нелинейные интегродифференциальные уравнения) и физические явления, существенные для оценки параметров удара и его влияния на организмы, сооружения и технику.

19.05-01.114 Разработка методов летных исследований по определению характеристик звукового удара перспективных СГС. *Степаненко А.Н., Наквашин А.Ю., Ивашкин В.В., Юнисов Р.Р., Арсланова Р.Р. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 306. Рус.

Одной из важнейших проблем, связанных с эксплуатацией сверхзвуковых самолетов является фактор воздействия звукового удара на окружающую среду. Звуковой удар сопровождает самолет на всем его пути сверхзвукового полета. Зона воздействия звукового удара определяется режимом полета и существенно зависит от атмосферных условий. Для определения характеристик звукового удара необходимо не только измерить профиль волны давления, но и определить все параметры, влияющие на условия возникновения и распространения звукового удара. Специалистами Института разработаны методы определения характеристик звукового удара с использованием комплекса измерительной аппаратуры, обеспечивающей синхронизированные измерения следующих параметров: параметры траектории полета самолета (GPS/ГЛОНАСС); бортовые параметры (СБИ); параметры звукового удара (Br÷uel&Kjaer PULS LAN-XI, Экофизика GPS/RTA); параметры атмосферы (вертолет Ми-8АМТ с метеозондом ROTRONIC). При проведении летных испытаний осуществляется горизонтальный пролет самолета на высоте $H \geq 11\ 200$ метров при скорости $M=1.6–2.0$ над измерительной базой с одновременным измерением всех указанных параметров. Данная методика была успешно апробирована при проведении летных испытаний самолета Су-30 на аэродроме «Третьяково».

Нелинейная акустика твердых тел

19.05-01.115 О динамике разгрузки и упругих волнах в среде с предварительно накопленными пластическими деформациями. *Дудко О.В., Рагозина В.Е. Механика твердого тела.* 2019, № 3, с. 41–53. Рус.

Для модели больших упругопластических деформаций предложены подходы, позволяющие описать упругую динамику среды (включая разгрузку и упругое нагружение) при наличии в ней предварительных необратимых деформаций. Получены формулы для вычисления перераспределения пластических деформаций на основе поворотного тензора. Для динамических упругих процессов, порождающих ударные волны в упругопластической среде, определены возможные скорости и типы плоских ударных волн. Показано, что упругие ударные волны создают скачки поля предварительных пластических деформаций, получены соотношения для вычисления таких разрывов. Рассмотрены основные свойства моделирования автономных решений и возможность разграничения в них упругих и пластических деформаций с учетом предложенного подхода к описанию кинематики среды.

19.05-01.116 Гистерезисные преобразователи со случайными параметрами. *Ворзунов С.В., Семенов М.Е., Сельневский Н.И., Мелещенко П.А. Мат. моделир.* 2019, 31, № 7, с. 109–126. Рус.

Предложен новый класс моделей гистерезисных преобразователей, обобщающий классическое определение люфта на случай, когда геометрическое расположение определяющих его кривых зависит от случайного параметра. Выход стохастического преобразователя в этой ситуации трактуется как случайный процесс. Доказана корректность определения соответствующего преобразователя в терминах специальной предельной конструкции, позволяющей определить выход на произвольном непрерывном входе. Исследованы свойства введенного преобразователя, получены аналитические соотношения, определяющие первую и вторую моментные функции выхода, приведены иллюстративные примеры.

19.05-01.117 Экспериментальное исследование нелинейной аэроупругости одиночного профиля НАСА в следе при наличии вибраций. *Вань А., Оуян Х., Се Х., У Я. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 4, с. 95–110. Рус.

Современные экономические и экологические стандарты требуют, чтобы лопасти турбин и крылья самолетов были возможно более легкими и гибкими при увеличении на них механической и аэродинамической нагрузки. Однако наличие аэродинамического возбуждения может привести к росту числа факторов, влияющих на вибрацию конструкции, в результате чего возникает задача аэроупругости. В отличие от случая механических резонансных вибраций, конструкция может взаимодействовать с аэродинамическим возбуждением и это возбуждение способно привести к захвату частоты в области, превышающей 10% от собственной частоты конструкции. Это явление расширяет диапазон высокоамплитудной реакции и должно учитываться при проектировании с учетом требований безопасности. В работе экспериментально исследуется реакция конструкции на аэродинамическое возбуждение. Экспериментальная установка включает цилиндр, находящийся выше по потоку, и одиночный профиль НАСА ниже по потоку, размещенные в аэродинамической трубе. Передний цилиндр генерирует вихри, которые воздействуют на профиль НАСА, возбуждая периодические колебания гибкой конструкции. Скорость потока измерялась термоанемометром, синхронно в положениях вверх и вниз по потоку от тела. Для условий, соответствующих эксперименту, выполнено численное моделирование, результаты которого сопоставлены с данными измерений. Для одного типичного случая основные особенности структуры течения выявлены методом собственно ортогонального разложения. Структурные свойства профиля, включая собственную частоту и скорость затухания, определены посредством конечно-элементного анализа и испытания обстукиванием. Основываясь на свойствах жидкости и конструкции, становится возможно провести взаимосвязанный тест и анализ. Характеристики вибраций профиля НАСА в модах первого и второго порядка исследовались при изменении скорости набегающего потока и диаметра цилиндра. Для вынужденных вибраций первой моды характерно

явление захвата частоты, а максимальная амплитуда не приходится на точку резонанса. В то же время вибрации второй моды обнаруживают типичное резонансное поведение.

Параметрические антенны, рассеяние звука на звуке

19.05-01.118 Влияние непараллельности торцов на спектр свободно затухающих колебаний балки. *Попов А.Л., Садовский С.А. Вестник МГСУ. 2019. 14, № 5, с. 538-547. Рус.*

Метод свободных колебаний широко применяется для обнаружения внутренних дефектов в стержневых и пластинчатых элементах конструкций. В данном исследовании он используется для диагностики дефекта стержневого образца, заключающегося в непараллельности торцов стержня. Рассмотрена возможность идентификации дефекта в форме скоса одного из торцов стержня по спектру частот свободно затухающих продольных и поперечных колебаний после ударных воздействий по боковой и торцевой граням стержня. Представлены экспериментальная установка и методика бесконтактной регистрации спектра частот собственных колебаний стержня по спектру его звукоизлучения. Обнаружены признаки дефекта в виде раздвоения частот поперечных колебаний стержня. При этом максимальные амплитуды раздвоенных частот соответствовали большим или меньшим частотам в зависимости от того, по каким граням производился удар. Это позволяет определить не только факт наличия дефекта в форме скоса края, но и установить его ориентацию относительно боковых граней стержня. Предложена приближенная теоретическая модель, объясняющая эффект раздвоения частот при наличии непараллельности торцов стержня. Для этого рассмотрены спектры частот поперечных колебаний двух стержней с длинами, равными длинам меньшей и большей граней исходного стержня со скошенным краем. Эксперименты показали, что разности собственных частот изгибных колебаний стержней с длинами, равными длинам меньшей и большей граней стержня со скошенным краем, соответствующих формам собственных колебаний с одинаковым числом волн по длине стержня, согласуются с разностями раздвоенных частот свободных затухающих поперечных колебаний стержня со скошенным краем. При этом соотношение амплитуд раздвоенных частот позволяет определить не только

факт наличия скошенного края, но и грани, где имеется этот скос. Применение и разработка метода через анализ спектра собственных колебаний могут привести к дополнительным возможностям дистанционного контроля качества стержневых элементов конструкций.

Акустические течения и радиационное давление

19.05-01.119 Математическое моделирование акустических течений вблизи ультразвукового сонотрода. *Хамидуллин Б.А., Цивильский И.В., Гильмутдинов А.Х. Вестник Казанского гос. техн. ун-та им. А. Н. Туполева. 2019. 75, № 2, с. 22-27. Рус.*

Представлены результаты моделирования акустических течений и кавитации в глицерине, вызванных колебаниями металлического сонотрода на частоте 20 кГц. Моделирование акустических колебаний выполнено тремя различными способами, показаны преимущества и недостатки каждого.

Методы измерений и инструменты нелинейной акустики

19.05-01.120 Измерение нелинейных акустических характеристик отверстий. *Комкин А.И., Быков А.И. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 140-141. Рус.*

Исследованию нелинейных характеристик отверстий в перегородках для случая высоких уровней звукового давления в канале посвящено большое количество работ, среди которых следует особо выделить работы Ингарда, внешне заметный вклад в понимание нелинейных волновых процессов, происходящих в отверстиях при высоких уровнях звукового давления. Вместе с тем, до настоящего времени некоторые вопросы, связанные нелинейными характеристиками отверстий, остались нерешенными. К таковым вопросам относится, например, установление зависимости нелинейного сопротивления от диаметра отверстия, который несмотря на долгую историю исследования нелинейных характеристик отверстия практически не освещался. Рассмотрению этого вопроса и посвящена данная работа.

Физическая акустика

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

19.05-01.121 Исследование процесса испарения жидкости со свободной поверхностью в замкнутой ёмкости при понижении давления и акустическом воздействии. *Трушляков В.И., Новиков А.А., Лесняк И.Ю., Паничкин А.В. Теплофиз. и аэромех. 2019, № 2, с. 275-286. Рус.*

Проведены теоретико-экспериментальные исследования процесса испарения жидкости со свободной поверхностью в замкнутой ёмкости при вакуумном и акустическом воздействиях. Разработана математическая модель влияния акустического воздействия и давления газа в замкнутой ёмкости на температуру и скорость испарения жидкости. Разработана программа и методика проведения экспериментов, создан экспериментальный стенд, реализована программа экспериментов. При проведении экспериментов использовался пьезокерамический излучатель с постоянными во времени значениями частоты и амплитуды колебаний. В качестве жидкости рассматривалась дистиллированная вода. В работе приведены экспериментальные зависимости изменения температуры жидкости и расчетные значения скорости испарения жидкости как при совместном вакуумном и акустическом воздействиях, так и при воздействии этих факторов по отдельности. Сравнительный анализ

расчетных и экспериментальных значений температур жидкости в процессе испарения показал совпадение с точностью до 10%. Авторами проведен регрессионный анализ влияния на скорость испарения жидкости таких факторов, как давление в вакуумной камере и мощность акустического воздействия. Получено уравнение регрессии, позволяющее оценить влияние акустического и вакуумного воздействий на скорость испарения жидкости в процессе эксперимента при различных давлениях и массах жидкости. Сформулированы предложения для проведения дальнейших исследований.

19.05-01.122 Акустика и устойчивость перегретой жидкости с газовыми зародышами. *Шаганов В.Ш., Галлимзянов М.Н., Вдовенко И.И. Прикладная механика и техническая физика. 2019. 60, № 3, с. 85-95. Рус.*

Рассмотрено распространение слабых возмущений в перегретой водовоздушной пузырьковой среде, когда в пузырьках помимо водяного пара присутствует инертный газ (например, воздух), не участвующий в фазовых переходах. Построены карты зон устойчивости рассматриваемых систем в зависимости от степени перегрева жидкости. Проанализировано влияние начальной степени перегрева на эволюцию гармонических волн. Для неустойчивых систем изучена зависимость инкремента от радиуса пузырьков при увеличении степени перегрева воды.

19.05-01.123 Волновое уравнение для пузырьковой жидкости в переменных Лагранжа. *Галлимзянов М.Н.,*

Агишева У.О. Вестник Башкирского ун-та. 2019. 24, № 2, с. 278-284. Рус.

Рассмотрено одномерное стационарное течение жидкости с газовыми пузырьками при следующих предположениях: смесь монодисперсная; вязкость и теплопроводность существенны лишь в процессе межфазного взаимодействия и при пульсациях пузырьков. Полагалось, что массообмен между фазами отсутствует, а температура жидкости постоянна, в отличие от температуры газа в пузырьке. Давление в пузырьке бралось однородным, что обеспечивается, если радиальная скорость стенок пузырька значительно меньше скорости звука в газе. Для поведения газа в пузырьках был принят политропический закон. На основе одномерных стационарных уравнений течения жидкости с газовыми пузырьками выписано волновое уравнение для пузырьковой жидкости в переменных Лагранжа. Для случая сильновязких жидкостей получено решение вида «ступенька».

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

19.05-01.124 Ячеечные модели суспензий цилиндрических частиц при разных граничных условиях. **Казаков Л.И.** 2019. 5, № 2, с. 39-48. Рус.

Приведены акустические характеристики ячейчных моделей суспензий цилиндрических частиц для четырех граничных условий на поверхности ячейки и произвольных объемных концентраций частиц. Теория применена к расчету волокнистых звукоизолирующих и звукопоглощающих материалов. Показаны примеры расчета звукопоглощающей способности слоев стекловаты.

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

19.05-01.125 Экспериментальное исследование акустических характеристик пенополиуретана. **Кузнецов А.В., Сафин А.И., Попов П.А., Иголкин А.А.** Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научнотехнической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 257-258. Рус.

Одной из задач акустики в ракетно-космической технике является разработка конструктивных мероприятий, направленных на снижение уровня акустического давления, действующего на полезную нагрузку. Источниками этого нагружения являются пристеночные пульсации давления и аэродинамический шум от ракетных двигателей на этапах старта и полета ракеты-носителя в плотных слоях атмосферы. Как правило, задача сводится к определению толщины материала теплозвукоизоляционного покрытия, который располагается на внутренней поверхности головного обтекателя. В современной практике при разработке данных мероприятий широко применяются методы математического, в том числе, конечно-элементного моделирования. Необходимым условием для успешного решения данной задачи являются хорошие звукопоглощающие свойства материалов, используемых для повышения звукоизоляции. В работе рассматривается экспериментальное определение характеристик материалов ППУ-35-0.8 ППУ-40-0.8, с помощью импедансной трубы.

19.05-01.126 Свойства акустических осей в триклинных средах. **Роганов Ю.В., Стюкас А., Роганов В.Ю.** Геофизический журнал. 2019. 41, № 3, с. 3-17. Рус.

Предложен метод получения соотношений для определения положения акустических осей в триклинном среде и зависимостей между ними. Доказано, что эти соотношения линейно независимы над полем действительных чисел. Однако любое соотношение алгебраических зависит от любых двух других соотношений. Исследована также взаимосвязь полученных соотношений с соотношениями, выведенными в более ранних работах. Выведены формулы определяют, как изменяются эти соотношения при поворотах вокруг осей системы координат.

Доказано, что выполнение пяти соотношений необходимо и достаточно для определения всех акустических осей в заданной системе координат. Показано, что акустическая ось в заданном фазовом направлении существует тогда и только тогда, когда два специальных вектора размерности пять коллинеарны. Для орторомбической среды эти соотношения представлены в явном виде однородными многочленами шестого степени от компонент вектора фазового направления и третьей степени от коэффициентов упругости. В плоскостях симметрии только два соотношения не равны тождественно нулю. Теорию продемонстрировано на двух примерах анизотропных сред. В первом примере, для триклинной среды, показано положение 16 акустических осей как точки пересечения графиков трех соотношений на плоскости (угол с вертикалью, азимут). В этом случае 6 точек соответствуют пересечению осей S1 и S2 волн, а 10 точек — пересечению осей P и S1 волн. Второй пример демонстрирует определение всех акустических осей в орторомбической среде на основании выведенных соотношений. Для второго примера графики соотношений приведены только в первом квадранте, поскольку они симметричны относительно координатных плоскостей.

19.05-01.127 Применение звуковых колебаний в процессе микроструктурирования поверхности высокоомного монокристаллического кремния. **Кацуба А.С., Пермикина Е.В., Хамидуллин К.А., Драгунов Д.Э., Седяков А.И.** Прикладная физика. 2019, № 4, с. 66-72. Рус.

Приведены результаты исследований воздействия звуковых колебаний в процессе химического микроструктурирования поверхности монокристаллического кремния ориентации (100). Установлено, что акустические эффекты при частоте звуковых колебаний 120–150 Гц позволяют получать фигуры травления заданной конфигурации по всей площади поверхности образцов. Показано, что для улучшения конфигурации ямок травления, в раствор, где происходит процесс травления кремния, целесообразно добавлять перекись водорода.

19.05-01.128 Об учете микровращений частиц упругой среды по упрощенной теории Коссера при распространении электроупругих волн в пьезоэлектрике класса 6 mm. **Аветисян А.С., Белубекян М.В.** Акустический журнал. 2019. 65, № 5, с. 579-587. Рус.

Выявлено влияние микрополяриности материала на распространение одномерной электроупругой волны по разным срезам пьезокристалла класса 6mm. Показано, что микрополяриность приводит к дисперсии одномерной электроупругой волны и запрещает распространение высокочастотных волн упругого сдвига. В случае нормально падающей электромагнитной волны на поверхность пьезоэлектрического полупространства по направлению оси поляризации пьезокристалла, в полупространстве возникают три ветви локализованных у поверхности электроупругих волн. Из уравнения дисперсии найден частотный интервал существования этих волн. Численно исследовано поведение волновых характеристик и частотных зон в зависимости от микрополяриности пьезоэлектрика.

Акустика ГГц частот; Бриллюэновское рассеяние

19.05-01.129 Резонансная спиновая накачка в акустическом свч-резонаторе со структурой ZnO-ГГГ-ЖИГ/Pt. **Ползикова Н.И., Алексеев С.Г., Лузанов В.А., Раевский А.О.** Известия РАН. Серия физическая. 2019. 83, № 7, с. 910-913. Рус.

Построена теория для описания акустической спиновой накачки в резонаторе объемных акустических волн со структурой ZnO-ЖИГ-ГГГ-ЖИГ/Pt, учитывающая обменный вклад в формирование спектра связанных магнитоупругих волн и обратное влияние акустически возбужденной магнитной динамики в пленках ЖИГ на упругую подсистему во всех слоях. Получено хорошее соответствие теоретических и экспериментальных частотно-полевых зависимостей резонансных частот резонатора и величины напряжения обратного спинового эффекта Холла в Pt.

Акустическая кавитация, сонолюминесценция

19.05-01.130 Расчетное определение начала кавитации рабочего колеса водометного движителя насосного типа. *Лобачев М.П., Рудниченко А.А. Труды Крыловского государственного научного центра.* 2019, № 3, с. 63-72. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом исследования является водометный движитель насосного типа с короткой направляющей насадкой. Цель состоит в разработке расчетного метода определения начала кавитации применительно к условиям модельного эксперимента. Материалы и методы. Начало кавитации определяется по результатам визуального наблюдения в ходе физического эксперимента в кавитационной трубе. Для условий физического эксперимента выполнено компьютерное моделирование с использованием современных численных методов и высокопроизводительных вычислительных технологий. Основные результаты. Предложен метод определения начала кавитации, основанный на проведении численного моделирования обтекания водометного движителя с использованием решения уравнений Рейнольдса. Рассмотрены два варианта метода: на основе анализа областей с давлением ниже давления насыщенного пара (без расчета собственно кавитации, т.е. парообразования) и на основе расчета кавитации с привлечением модели Шнегера и Сауэра (Schnegg and Sauer). Выполнено сопоставление с результатами физического эксперимента, в котором начало кавитации определяется визуально. Для расчетного метода предложен критерий определения начала кавитации по объемам областей с пониженным давлением при расчете без учета парообразования (без кавитации) или объемам каверн (расчет с моделированием кавитации), определяемым по концентрации паровой фазы — 5%. Для стандартных условий модельного эксперимента (диаметр рабочих колес — 200—250 мм) этот объем составляет 1 мм³. Заключение. Для определения начала кавитации рабочих колес водометных движителей предложен расчетный метод, позволяющий получать результат с точностью, достаточной для практического использования. Для рабочих колес с геометрией лопаток, близкой к рассмотренной, возможно прогнозирование начала кавитации без собственно расчета парообразования, что дает экономию вычислительных ресурсов в четыре раза. Метод в обоих вариантах особенно полезен при рассмотрении влияния локальных изменений геометрии лопастей рабочих колес на начало кавитации.

19.05-01.131 Гидрокавитационное струйное удаление внутренностей у обезглавленных рыб. *Уколов А.И., Родионов В.П., Старовойтов П.П. Вестник Камчатского гос. технич. ун-та.* 2019, № 48, с. 43-48. Рус.

Работа продолжает цикл статей авторов, посвященных изучению возможности использования гидродинамической суперкавитации для удаления внутренностей у обезглавленных рыб с целью внедрения данного метода в производственную деятельность предприятий рыбной промышленности. Выполненные эксперименты позволили определить оптимальный диапазон давления насосной установки, необходимый для обеспечения данного процесса. Установлено, что при использовании разработанных авторами кавитаторов очистка рыбы от внутренностей без разрушения ее тела происходит при давлении от 0,5 МПа до 1,5 МПа. Компьютерное моделирование этого процесса подтвердило наличие концентрированной паровой фазы во внутреннем объеме брюшной полости рыбы. Однако за счет фазового перехода у поверхности тела рыбы наблюдается уменьшение давления и скорости потока, что способствует сохранению целостности продукта.

Фононы в кристаллической решетке, квантовая акустика

19.05-01.132 Контроль дефазировки когерентных фононов, возбуждаемых фемтосекундными лазерными импульсами, в непрозрачных кристаллах. *Мисочко О.В. Ж. эксперим. и теор. физ.* 2019, 155, N 6, с. 975-990. Рус.

Методом невырожденного возбуждения и зондирования фем-

тосекундными лазерными импульсами исследована дефазировка когерентных фононов в полуметаллах и полупроводниках. На основе изучения зависимостей времени жизни когерентных фононов различной симметрии от длительности возбуждающего импульса, температуры кристалла и величины когерентной амплитуды, определяемых как методом когерентного контроля, так и длительностью импульса возбуждения, показано, что дефазировка когерентных фононов в линейном режиме контролируется состоянием окружения (резервуара), под которым понимается совокупность решеточных и электронных состояний, не вовлеченных в когерентное движение.

Плазменная акустика

19.05-01.133 Волновые процессы в пылевой плазме над Фобосом и Деймосом. *Копнин С.И., Морозова Т.И., Попель С.И. Физика плазмы.* 2019, 45, № 9, с. 831-838. Рус.

Представлено обсуждение линейных и нелинейных волн в приповерхностной плазме над Фобосом и Деймосом. Показано, что нарушение изотропии функции распределения электронов в приповерхностной плазме над спутниками Марса связано с движением солнечного ветра относительно фотоэлектронов и заряженных пылевых частиц, что приводит к развитию неустойчивости и возбуждению высокочастотных волн с частотами в диапазоне ленгмюровских и электромагнитных волн. Кроме того, возможно распространение пылевых звуковых волн, возбуждение которых может, например, происходить в окрестности терминаторов спутников Марса. Найдены решения в виде пылевых звуковых солитонов, соответствующие параметрам плазменно-пылевых систем над освещенными частями Фобоса и Деймоса. Определены области возможных чисел Маха и амплитуд солитонов.

Наноакустика, акустика тонких пленок и капель с наночастицами

19.05-01.134 Об устойчивости сильно заряженной капли, подвешенной в суперпозиции гравитационного и электростатического полей. *Ширяева С.О., Петрушов Н.А., Григорьев А.И. Журнал технической физики.* 2019, 89, № 8, с. 1183-1189. Рус.

Для сильно заряженной капли, подвешенной в неподвижном состоянии в суперпозиции гравитационного и электростатического полей, найдены критические условия реализации ее неустойчивости по отношению к собственному и индуцированному зарядам. Все расчеты проведены в четвертом порядке малости по величине стационарной деформации сферической формы капли и первом порядке по безразмерной амплитуде ее капиллярных осцилляций. Найдены зависимости величин критических параметров Рэлея W_{cr} и Тейлора w_{cr} от радиуса изначально сферической капли, плотности, коэффициента поверхностного натяжения, ускорения свободного падения и от номера моды осцилляций, отличные от таковых для свободной капли. С увеличением номера моды критическое значение параметра Рэлея растет и выходит на асимптотику $W_{cr} \sim 0.95$, а критическое значение параметра w_{cr} снижается и выходит на асимптотику $w_{cr} \sim 1/25 \cdot 10^{-4}$. Указанные изменения W_{cr} и w_{cr} объясняются наличием условия неподвижности центра масс в подвесе, связывающего W_{cr} , w_{cr} и ускорение поля сил тяжести. Ключевые слова: заряженная капля, электростатический подвес, осцилляции.

19.05-01.135 Предельные волновые режимы при пространственном и временном развитии возмущений в стекающей пленке жидкости. *Белоглазкин А.Н., Шжадов В.Я., Кулаго А.Е. Вестник МГУ. Сер. 1: Математика. Механика.* 2019, № 3, с. 58-64. Рус.

Обсуждается соотношение теоретических и экспериментальных данных для классической задачи о регулярных двумерных волнах в пленках тяжелой вязкой жидкости на вертикальной поверхности. На основе использования преобразования подобия проводится сравнительный анализ методов расчета нелинейных волн, формирующихся в пленке при пространственном и

временном развитии возмущений основного стационарного течения.

19.05-01.136 Свободные колебания капли, погруженной в вязкую безграничную жидкость. *Братухин Ю.К., Макаров С.О. Вестник Пермского ун-та. Серия: Физика.* 2019, № 1, с. 60-65. Рус.

Аналитически точно решена задача о свободных колебаниях капли, погруженной в жидкость, заполняющую все пространство в условиях невесомости. Обе жидкости считаются вязкими, инертными, несжимаемыми и взаимно насыщенными, форма капли слабо отклоняется от сферической. Найдено точное решение системы уравнений гидродинамики в приближении Стокса с учетом граничных условий на деформированной поверхности капли. Для самой крупномасштабной моды определены коэффициенты затухания, частоты колебаний и критические параметры, определяющие инертность, вязкость и упругость, при которых возникает аperiodический режим движения. Показано, что с увеличением плотности и вязкости капли аperiodический режим движения наступает при меньших значениях безр.

Поверхностные волны в твердых телах и жидкостях

19.05-01.137 Волновые процессы в слоистой микронеднородной среде с неоднородными граничными условиями. *Аббакумов К.Е., Вагин А.В. Известия Санкт-Петербургского гос. электротехнич. ун-та "ЛЭТИ".* 2019, № 5, с. 12-18. Рус.

Рассмотрен вопрос о том, как с помощью измеренных параметров поверхностной волны определить характеристики неоднородной среды. В работе исследовано распространение поверхностных волн в микронеднородной слоистой среде типа «сталь-графит» с неоднородными граничными условиями на границах слоев. Выведены и решены относительно волнового числа дисперсионные уравнения для продольной и поперечных вертикально и горизонтально поляризованных волн. Выведено дисперсионное уравнение для поверхностной волны, распространяющейся в упругом неоднородном полупространстве с заданными эффективными модулями упругости. В дисперсионное уравнение подставлены выражения продольной и поперечных волн, полученные для среды с неоднородностями, затем уравнение решено относительно волнового числа поверхностной волны. Построены графические зависимости полученных скоростей от относительной толщины слоя. Полученные зависимости используются применительно к задачам определения физико-механических характеристик неоднородной среды при контроле объекта поверхностной волной. Расчеты проводились для общей толщины слоя сталь-графит 1 мм на частоте ультразвука 1 МГц.

19.05-01.138 Восстановление неоднородностей среды при микросейсмическом зондировании вдоль криволинейной поверхности. *Жостков Р.А. Акустический журнал.* 2019. 65, № 5, с. 708-720. Рус.

Представлены результаты численного двумерного моделирования распространения рэлеевской волны вдоль криволинейной границы твердой идеальной среды, содержащей контрастное включение. Показано, что игнорирование влияния как выпуклого, так и вогнутого рельефа при интерпретации данных микросейсмического зондирования может приводить к ошибкам для широкого диапазона выраженности рельефа и контраста между включением и вмещающей среды, а использование дополнительной поправки при обработке данных позволяет учесть или даже исключить эти ошибки во всем рассмотренном диапазоне указанных параметров.

19.05-01.139 Кольцевые волны на поверхности жидкости в кулоновском поле. *Ширяева С.О., Григорьев А.И. Журнал технической физики.* 2019. 89, № 8, с. 1190-1199. Рус.

Исследованы закономерности реализации неустойчивости кольцевых волн на поверхности электропроводной жидкости в кулоновском поле. Выведено соотношение для связи частоты кольцевых капиллярно-гравитационных волн на поверхно-

сти проводящей жидкости в неоднородном электростатическом поле точечного заряда с физическими параметрами задачи и с аналогом волнового числа. По аналогии с полевым параметром Тонкса—Френкеля определен полевой параметр, характеризующий устойчивость поверхности проводящей жидкости в неоднородном кулоновском поле. Найдено, что критические условия реализации неустойчивости кольцевых волн на поверхности электропроводной жидкости в кулоновском поле менее жестки, чем критические условия реализации неустойчивости Тонкса—Френкеля. Ключевые слова: кольцевые волны, кулоновское поле.

19.05-01.140 Влияние конфигурации и материала встречно-штыревых преобразователей на возбуждение поверхностных и псевдоповерхностных акустических волн в подложках ниобата лития. *Варламов А.В., Лебедев В.В., Агрозин П.М., Ильичёв И.В., Шамрай А.В. Письма в Журнал технической физики.* 2019. 45, № 14, с. 40-43. Рус.

Исследованы возбуждение, распространение и взаимодействие поверхностных и псевдоповерхностных акустических волн в подложке ниобата лития X-среза. Определены резонансные частоты возбуждения, скорости распространения и дисперсионные характеристики для каждого типа акустических волн. Выявлено влияние материала электродов на эффективность возбуждения и взаимодействие между разными типами акустических волн. Определены требования к материалу и конфигурации электродов акустооптических устройств в интегральном исполнении. Ключевые слова: поверхностная акустическая волна, псевдоповерхностная акустическая волна, встречно-штыревой преобразователь, акустооптическое устройство, ниобат лития, интегральная оптика.

Акустоэлектроника

См. 19.05-01.128

Магнитоакустический эффект, осцилляции и резонанс

19.05-01.141 Вариации скорости деформации и акустической эмиссии нагруженных образцов мрамора, вызванные внешним электромагнитным полем. *Мубасарова А., Богомолов Л.М., Закупин А.С., Пантелеев И.А. Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16—19 июня 2015 г. М.: ГЕОС.* 2015, с. 50-51. Рус.

19.05-01.142 Стохастическая магнитогидродинамическая иерархия в сильном внешнем магнитном поле. *Богомолов С.В., Есикова Н.В. Мат. моделир.* 2019. 31, № 8, с. 120-142. Рус.

На основании стохастической микроскопической столкновительной модели движения заряженных частиц в сильном внешнем магнитном поле строится иерархия уравнений магнитной гидродинамики. Переход к всё более грубым приближениям происходит в соответствии с уменьшением параметра обезразмеривания, аналогичного числу Кнудсена в газовой динамике. В результате получаются стохастические и неслучайные макроскопические уравнения, отличающиеся от магнитного аналога системы уравнений Навье—Стокса, а также от систем магнитной квазигидродинамики. Главной особенностью этого вывода является более точное осреднение по скорости благодаря аналитическому решению стохастических дифференциальных уравнений по винеровской мере, в виде которых представлена промежуточная мезо-модель в фазовом пространстве. Такой подход существенно отличается от традиционного, использующего не сам случайный процесс, а его функцию распределения. Акцент ставится на ясности допущений при переходе от одного уровня детализации к другому, а не на численных экспериментах, в которых содержатся дополнительные погрешности аппроксимации.

19.05-01.143 О периодических конвективных процессах в магнитной жидкости в вертикальных каналах. *Глухов А.Ф., Сидоров А.С. Известия РАН. Механика*

жидкости и газа. 2019, № 4, с. 13-18. Рус.

Анализируются причины наблюдаемых в эксперименте периодических переходов между двумя возможными направлениями течения магнитной жидкости в подогреваемых снизу связанных вертикальных каналах. Показано, что ключевая роль принадлежит термодиффузии коллоидных частиц за счет горизонтальных градиентов температуры в сечении узких каналов. Конвекция, с одной стороны, способствует перемешиванию жидкости, а с другой стороны, сама выступает в роли генератора концентрационных неоднородностей. Гравитационная седиментация частиц исключена из списка возможных причин таких колебаний.

19.05-01.144 Течение тонкого слоя намагничивающейся жидкости в магнитном поле. Тятюшкин А.Н. Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2019, № 4, с. 27-32. Рус.

Аналитически решается задача о течении тонкого слоя несжимаемой жидкости, намагничивающейся по заданному закону, по твердой подложке в неоднородном магнитном поле в приближении теории смазки. Получено дифференциальное уравнение в частных производных, которое описывает изменение формы слоя со временем. Рассмотрена общая постановка задачи. Выписано решение задачи о тонком слое намагничивающейся жидкости в магнитном поле вертикального бесконечного цилиндрического проводника с заданным достаточно сильным током.

19.05-01.145 Незеркальные эффекты при прохождении квазиплоской волной ограниченного фотонного кристалла с асимметричным поляритонным спектром. Сухорукова О.С., Тарасенко А.С., Тарасенко С.В., Шавров В.Г. Известия РАН. Серия физическая. 2019. 83, № 6, с. 769-772. Рус.

Для квазиплоской волны ТМ-типа (или ТЕ-типа), нормально падающей извне на ограниченный одномерный магнитный фотонный кристалл со спектром нормальных магнитных поляритонов, асимметричным относительно инверсии направления распространения волны, в плоскости слоев возникают незеркальные эффекты первого порядка как для отраженной, так и для прошедшей волны.

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

19.05-01.146 Определение сигнатур акусто-электромагнитных портретов объектов техники на основе их оптических портретов. Луценко В.И., Луценко И.В., Соболяк А.В., Ло И., Цзэян Г., Юн Д.Уи. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы II Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VIII Всероссийских Армандовских чтений, Муром, 26–28 июня 2018 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018, с. 703-710. Рус.

Рассмотрены информативные признаки, которые могут служить основой при распознавании воздушных и наземных объектов техники. Разработана методика получения сигнатур акусто-электромагнитных портретов объектов техники на основе их оптических изображений. Сопоставлены сигнатуры, полученные расчетным путем и при проведении экспериментальных исследований в натуральных и лабораторных условиях.

19.05-01.147 Лазерное сканирование аддитивных образцов звукопоглощающих конструкций. Кустов О.Ю., Третьяков А.А., Мугизова Е.А. Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. 2018, № 1, с. 177-179. Рус.

Продолжено детальное исследование влияния геометрических отклонений (дефектов) образцов звукопоглощающих конструкций на их акустические характеристики. Образцы представляют собой модель однослойной панели ЗПК с резонато-

ром в виде стандартной соты. Сравнивались шесть образцов из нейлона ABS- и PLA-пластика при помощи лазерной измерительной системы Romer 7325 SI.

19.05-01.148 О возможности использования периодического опорного сигнала в гомодинном акустооптическом спектроанализаторе. Аронов Л.А., Доброленский Ю.С., Ушаков В.Н. Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2019. 22, № 3, с. 97-105. Рус.

Для работы гомодинного акустооптического спектроанализатора необходимо организовать опорный оптический канал. Сигнал в этом канале должен обеспечивать равномерную засветку по всей области пространственных частот. В общем случае можно рассматривать работу спектроанализатора с фотоприемником мгновенного действия и фотоприемником с накоплением. В последнем случае сигнал в опорном канале предлагается формировать в виде периодической последовательности широкополосных импульсов. Целью является анализ работы спектроанализатора с периодическим опорным сигналом. Анализ основан на выводе математического выражения, описывающего влияние структуры опорного сигнала на выходной сигнал спектроанализатора для случаев применения фотоприемника мгновенного действия и фотоприемника с накоплением. Показано, что для спектроанализатора с фотоприемником мгновенного действия периодичность опорного сигнала не приводит к ухудшению характеристик. Однако такой вариант при большом количестве точек разрешения в частотной области нецелесообразен с практической точки зрения, так как требует параллельной обработки сигнала каждого фотоприемника трактом с фильтрацией, усилением и оцифровкой. При использовании фотоприемника с накоплением процесс накопления заряда приводит к формированию дискретной сетки частот, что означает наличие пропусков сигналов по частоте. Установлено, что избежать этого можно, выбирая время накопления, равное минимальному среди значений временной апертуры акустооптического модулятора и периода сигнала. Реализация такого варианта на практике либо невозможна на современных фотоприемниках с накоплением, либо приводит к наличию пропусков по частоте или времени. Делается вывод, что для обеспечения режима реального времени в гомодинном акустооптическом спектроанализаторе опорный сигнал должен быть либо непериодическим, что ставит вопрос о синтезе подходящего сигнала, либо необходимо использовать фотоприемник мгновенного действия в виде линейки фотодиодов.

19.05-01.149 Широкополосный синтезатор частоты для акустооптики. Мартынов П.С. Радиотехника и электроника. 2018. 63, № 11, с. 1197-1200. Рус.

Сконструирован и исследован широкополосный цифровой синтезатор частоты для акустооптических фильтров. Расширен диапазон синтезируемых частот по сравнению с синтезаторами на основе фазовой автоподстройки частоты. Разработан интерфейс для управления предложенной конструкцией, с помощью которого пользователь может самостоятельно вводить значения частот. Реализован опытный образец двухканального синтезатора частоты с возможностью независимой работы каналов.

19.05-01.150 Моделирование акустических сигналов при оптоакустическом преобразовании для осесимметричных несферических форм эритроцитов. Кравчук Д.А. Науч. приборостр. 2019. 29, № 2, с. 83-89. Рус.

Проведено моделирование промежуточных форм при трансформации эритроцитов на примере трехмерных фигур для последующего исследования изменения оптоакустических сигналов. Смоделированы пространственные фигуры эритроцитов с помощью полинома Чебышева. Разработана модель изменения формы эритроцитов для моделирования акустического сигнала с целью определения формы эритроцитов, используя оптоакустический эффект. Известно, что эритроциты переносят кислород и углекислый газ. Кислород переносится из легких в ткани, где он обменивается на CO₂. Здоровый эритроцит имеет двояковогнутую форму, клетка является гибкой и принимает форму колокола, когда она проходит через очень маленькие кровеносные сосуды. Эритроцит покрыт мембраной, состоящей из липидов и белков, без ядра и содержит гемоглобин — красный,

богатый железом белок, который связывает кислород. Перед выделением из костного мозга в периферическую кровь эритроциты теряют свои ядра, что дает преимущества уменьшенного веса и превращения в двояковогнутый диск с повышенной деформируемостью по сравнению с более жестким сфероидальным.

19.05-01.151 Акустооптический дефлектор с отводом тепла от пьезопреобразователя при акустической изоляции теплоотвода. Антонов С.Н. *Акустический журнал*. 2019. 65, № 5, с. 588-595. Рус.

Предложен метод отвода тепла от преобразователя акустооптического дефлектора без существенного акустического демпфирования. Тыльная поверхность преобразователя и поверхность поглотителя тепла находятся в контакте через тонкий акустически изолирующий слой жидкости. Метод основан на значительном различии комплексного акустического импеданса для сдвиговых колебаний жидкостей и твердого тела (пьезопреобразователя) при хорошей передаче тепла через жидкость. В эксперименте достигнут непрерывный режим работы акустооптического дефлектора при интенсивностях акустической волны более 20 Вт/см². Создан акустооптический дефлектор, работающий в режиме, в котором индекс фазовой модуляции при брэгговской дифракции достигает 3π при подводимой непрерывной управляющей электрической мощности 3 Вт. Параметры дефлектора на длине волны света 1.06 мкм: эффективность дифракции более 90% в частотной полосе 25 МГц и при абсолютном угле сканирования 40 мрад.

19.05-01.152 О термоакустике проводящих материалов при лазерном воздействии. Морозов Н.Ф., Муратиков К.Л., Семенов Б.Н., Индейцев Д.А., Вавилов Д.С. *Доклады академии наук*. 2019. 485, № 4, с. 438-441. Рус.

В рамках однопериодической модели термоупругости выполнен анализ влияния процессов локализации электронов на термоупругий отклик проводников при импульсном лазерном воздействии. Показано, что локализация электронов может приводить к существенному затягиванию деформационных процессов в проводниках по сравнению с процессами, развивающимися по обычному термоупругому механизму.

19.05-01.153 Двухканальный высокочастотный акустооптический модулятор. Котов В.М., Воронко А.И., Тихомиров С.А. *Приборы и техника эксперимента*. 2019, № 4, с. 89-94. Рус.

Представлена схема двухканального акустооптического модулятора, преобразующего частотный сдвиг оптического излучения в высокочастотную амплитудную модуляцию. Создан и испытан широкоапертурный модулятор из монокристалла TeO₂ для модуляции излучения с длиной волны 0.63 мкм с двумя выходными оптическими лучами, поляризации которых взаимно ортогональны. Амплитуды лучей промодулированы на частоте ~100 МГц, при этом модуляция лучей происходит в противофазе.

19.05-01.154 Новый метод модуляции в акустооптических спектрометрах. Пустовойт В.И. *Квантовая электроника*. 2019. 49, № 8, с. 707-716. Рус.

Предложен новый метод модуляции излучения в коллинеарных акустооптических (АО) спектрометрах, основанный на последовательной дифракции падающего поляризованного оптического излучения на двух звуковых пакетах с одинаковыми частотами и начальными фазами. Построена теория дифракции оптического излучения на двух последовательных пакетах звуковых волн, распространяющихся в кристалле, и найдена инструментальная функция АО спектрометра. Установлено, что инструментальная функция такого спектрометра становится зависящей от времени, причем частота модуляции этой зависимости, в свою очередь, зависит от интенсивности звуковой волны и от отстройки от условий синхронизма. Получена в явном виде частотная зависимость измеряемого фототока для некоторого конечного числа звуковых пакетов и показано, что ее измерение позволяет определить спектральный состав падающего оптического излучения с большей точностью.

19.05-01.155 Волоконно-оптические кабели с вы-

сокой акустической изоляцией. Власов А.А., Алейник А.С., Аширов А.Н., Плотников М.Ю., Варламов А.В. *Письма в Журнал технической физики*. 2019. 45, № 15, с. 29-32. Рус.

Проведены теоретические расчеты и экспериментальное исследование степени снижения акустической чувствительности оптического волокна в диапазоне частот 20—20 000 Нз внутри кабелей специальной конструкции. Достигнута высокая степень снижения акустической чувствительности: более чем на 29 dB по отношению к стандартному одномодовому волокну SMF-28 в полимерной оболочке. Данный результат может существенно повысить пороговую чувствительность измерительных систем на основе волоконно-оптических интерферометров. Ключевые слова: волоконно-оптические датчики, шум окружающей среды, шумоподавление, шумоизоляция.

19.05-01.156 Влияние механических напряжений в пластине из алюминиевого сплава Д16 на генерацию акустических колебаний лазерным излучением. Глазов А.Л., Муратиков К.Л. *Письма в Журнал технической физики*. 2019. 45, № 17, с. 51-54. Рус.

Проанализирован процесс лазерной генерации ультразвука в металлах с внутренними механическими напряжениями. Исследованы особенности поведения фотоакустического сигнала вблизи отверстия в пластине из сплава Д16 при воздействии механических напряжений. Выявлено несоответствие экспериментальных результатов предсказаниям термодинамической модели зависимости коэффициента теплового расширения от механических напряжений. Для корректного описания особенностей поведения сигнала в реальных металлах предложено учесть влияние электронной подсистемы на лазерную генерацию акустических колебаний. Ключевые слова: термоупругость, фотоакустическая микроскопия, остаточные напряжения, задача Кирша, давление электронного газа.

Термоакустика, высокотемпературная акустика, фотоакустический эффект

19.05-01.157 Термоакустические колебания в решетке каналов Рийке сотового и револьверного типа. Константинов А.П., Сухинин С.В. *Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 213-214. Рус.

При определенных условиях возможно возникновение виброакустических режимов работы камер сгорания, обусловленных гистерезисом акустических колебаний на фронте горения, существенно влияющих на процессы в камере сгорания. Неустойчивость процесса горения может являться нежелательным явлением, приводящим к снижению КПД, механическим вибрациям вплоть до разрушения камеры сгорания. С другой стороны, известно, что вибрационное горение является более интенсивным процессом. Исследования показывают, что в режиме вибрационного горения существенно улучшаются такие параметры как теплонапряженность камеры и полнота сгорания топлива. Одним из механизмов реализации режима вибрационного горения является использование эффекта Рийке. В работе исследуются акустические колебания, возникающие в результате гистерезиса акустических волн на фронте горения (эффект Рийке) в системе каналов сотового и револьверного типа в потоке газа. В работе показано, что распространение термоакустических колебаний в канале, разделенном на систему субканалов сотового типа можно рассматривать как частный случай колебаний около бесконечной периодической сотовой решетки, что позволяет упростить задачу при помощи методов теории групп и далее использовать известные подходы. При помощи численно-аналитических методов описаны условия существования термоакустических колебаний в рассматриваемой системе и найдены оценки количества мод вибрационного горения. Получены зависимости частот термоакустических колебаний от количества и геометрических размеров субканалов в основном канале. Исследована механика колебаний, построены поля давлений и скоростей.

19.05-01.158 Анализ процесса генерации звуковых волн термоакустическими источниками. *Разрезова К.В., Малец А.А. Труды Крыловского государственного научного центра.* 2019, № 20193, с. 110-116. Рус.

Уточнена методика расчета амплитуды колебательной скорости звуковой волны. Показано, что в случаях, когда термоакустический эффект звука нагружен жидкостями, вклад в акустическое поле излучения звука с поверхности твердого тела может быть довольно большим, и это необходимо учитывать при проведении исследований таких излучений. Перспективным направлением исследования является использование термофонов в качестве источников излучения звука в жидкую среду. Для проведения гидроакустических измерений в жидких средах необходимо разрабатывать специальные термофоны, гидроизолированные от проводящей жидкости за счет иммерсионной жидкости. В природе существует великое множество жидких диэлектриков. Например, для этой цели могут быть использованы жидкие диэлектрики, применяемые для поляризации пьезоэлементов, входящих в состав составных излучателей звука, которые широко используются в различных гидроакустических системах. При этом можно ожидать, что акустическая эффективность системы возрастет на 6—20 дБ.

19.05-01.159 Аппроксимационные формулы для радиационного теплового потока при больших скоростях. *Брыкина И.Г., Егорова Л.А. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 4, с. 123-134. Рус.

Цель работы – получение аналитического выражения для коэффициента радиационной теплопередачи в точке торможения затупленного тела в зависимости от его скорости, размера и плотности атмосферы в диапазоне этих параметров, характерных для входа крупного метеороида в атмосферу Земли. Представлены имеющиеся в литературе аналитические аппроксимации численных расчетов радиационного теплового потока в точку торможения тела с неразрушающейся поверхностью, полученные в ограниченных диапазонах высот, скоростей и радиусов затупления. Проведено тестирование этих формул в более широком диапазоне параметров обтекания путем сравнения с расчетами других авторов. На основании анализа этих сравнений и сделанных корреляций по скорости тела, его радиусу и плотности атмосферы предложено новое аппроксимационное соотношение для радиационного теплового потока в точке торможения.

19.05-01.160 Влияние поперечного перепада температур на устойчивость двухслойных течений жидкости с испарением. *Шефер И.А. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 5, с. 15-25. Рус.

В рамках сопряженной задачи исследуется линейная устойчивость совместного течения испаряющейся жидкости и парогазовой смеси в условиях неоднородного нагрева. Для описания двухслойного течения используется точное решение уравнений Навье—Стокса в приближении Буссинеска, учитывающее влияние ненулевых продольного и поперечного температурных градиентов, а также прямого и обратного термомодифицирующего эффектов в парогазовом слое и на межфазной границе. Для систем с различной толщиной жидкого слоя изучено влияние приложенной внешней тепловой нагрузки на основные характеристики течений, их структуру, паросодержание, массовую скорость испарения и устойчивость. Выделены типичные формы характеристических возмущений, описаны механизмы неустойчивости и определены критические тепловые нагрузки, приводящие к потере устойчивости при малых поперечных перепадах температуры.

См. также **19.05-01.95**, **19.05-01.152**

Химические процессы и фазовые переходы при воздействии ультразвука

19.05-01.161 Численное моделирование распространения детонационной волны в рамках двухстадийной модели кинетики химических реакций в системе координат, связанной с фронтом лидирующей волны. *Порошина Я.Э., Уткин П.С. Вычисл. методы и программир.* 2019. 20, № 3, с. 293-308. Рус.

Для численного исследования пульсирующей детонационной волны в рамках двухстадийной модели кинетики химических реакций в системе координат, связанной с фронтом лидирующей волны, разработан оригинальный вычислительный алгоритм. Для четырех известных режимов распространения детонации в рамках данной модели исследовано влияние порядка аппроксимации алгоритма, длины расчетной области, сеточного разрешения и типа граничного условия на дальней границе на результаты моделирования. Проведено сравнение характера пульсаций с результатами расчетов других авторов.

Акустика океана, гидроакустика

Звук в глубоком море, подводный звуковой канал

19.05-01.162 Исследования пространственно-временной структуры акустического поля, формируемого в глубоком море источником широкополосных импульсных сигналов, расположенным на шельфе Японского моря. *Моргунюв Ю.Н., Голов А.А., Буренин А.В., Петров П.С. Акустический журнал.* 2019. 65, № 5, с. 641-649. Рус.

Обсуждаются результаты экспериментов, проведенных в сентябре 2017 г. для обоснования применимости способа позиционирования подводных объектов при их функционировании на глубинах, существенно превышающих глубину оси подводного звукового канала. Приводятся результаты экспериментальных исследований и численного анализа эффекта фокусировки акустической энергии в придонном слое на шельфе и переходе ее в глубоководные (до 500 м) слои Японского моря для легнеосенных гидрологических условий. Эксперименты по приему широкополосных импульсных сигналов с центральной частотой 400 Гц проводились на различных удалениях (20, 68, 86, 90 и 198 км) от источника навигационных сигналов, установленного на глубине 35 м у побережья вблизи мыса Шульца. Для приема сигнальной информации была использована система с распределенными по глубине до 500 м гидрофонами, с возможностью длительной регистрации сигналов на фиксиро-

ванных глубинах или в процессе погружения. Результаты экспериментов позволили исследовать импульсные характеристики акустических волноводов, рассчитать эффективные скорости распространения навигационных сигналов, принимаемых на различных глубинах, а также сделать выводы о возможности решения задач позиционирования автономных подводных аппаратов на глубинах до 500 м и при удалении от источника навигационных сигналов до 200 км. Выполнено математическое моделирование распространения акустических волн в волноводе, воспроизводящем условия эксперимента, с применением метода нормальных волн.

19.05-01.163 Время "ИСТОКОВ". *Максимов В.В. Гидроакустика.* 2019, № 38-1, с. 73-83. Рус.

Рассмотрены основные итоги 1 и 2-й научно-практических конференций молодых специалистов «ИСТОК», проводившихся в сентябре 2016 и сентябре 2018 гг. на базе АО «ОК «Чайка» Краснодарского края. Кратко изложено содержание лучших докладов, сделанных на четырех научно-технических секциях.

Акустика мелкого моря

19.05-01.164 О структуре волновых процессов в открытом льдом мелком море (по данным натурных наблюдений). *Преснов Д.А., Собеснов А.Л., Гусев В.А., Жостков Р.А., Шуруп А.С. Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-*

совещания, Москва, 16–19 июня 2015 г. М.: ГЕОС. 2015, с. 58. Рус.

19.05-01.165 Пассивная томография мелкого моря по данным о фазе функции взаимной корреляции шумов. *Сабиров И.Р., Шуруп А.С. Ученые записки физического факультета МГУ.* 2019, № 4, <http://uzmu.phys.msu.ru/toc/2019/4>. Рус.

В работе анализируются возможности и ограничения использования информации о фазе функции взаимной корреляции шумовых сигналов, зарегистрированных в пространственно разнесенных точках акватории, для целей пассивной томографии мелкого моря. В рамках численного моделирования демонстрируется наличие характерных особенностей фазы функции Грина вблизи критических частот гидроакустических мод. Выявлено, что на этих частотах производная фазы испытывает разрыв, что может использоваться в качестве критерия оценки критических частот мод волновода. Предложена и численно реализована схема восстановления характеристик волновода по данным в виде фазы функции взаимной корреляции шумового поля и критических частот гидроакустических мод. Показано, что учёт значений критических частот, как дополнительной информации при решении обратной задачи, улучшает точность реконструкции параметров волновода и помехоустойчивость предлагаемого алгоритма.

19.05-01.166 Оценка возможностей идентификации гренландских китов на арктическом шельфе. *Григорьев В.А., Луньков А.А., Петников В.Г., Шатравин А.В. Акустический журнал.* 2019, № 5, с. 596-607. Рус.

Используя реальные записи сигналов гренландских китов, в рамках численного моделирования рассмотрено распространение этих сигналов в мелководном волноводе арктического типа. Анализировалась степень затухания и искажения сигналов китов с ростом расстояния в условиях: 1) мягкого и жесткого дна, 2) различной глубины погружения кита, 3) поверхностного волнения, 4) аддитивных шумов, 5) приема на одиночный гидрофон и вертикальную антенну. Затухание сигналов оценивалось по изменению уровня звукового давления (SPL). Искажение сигналов оценивалось по изменению коэффициента корреляции между спектрограммами принимаемых сигналов и эталонными спектрограммами. Показано, что характеристики затухания и искажения выходных сигналов антенны по сравнению с сигналами одиночного приемника более стабильны и устойчивы к изменениям глубины кита, к возможным в условиях Арктики значительным перепадам скорости звука в дне вдоль акустической трассы, а также к воздействию аддитивных шумов. Полученные результаты могут быть использованы для пассивного мониторинга гренландских китов на арктическом шельфе.

19.05-01.167 Сравнительный анализ методов пространственной обработки сигналов, принимаемых горизонтальной антенной решеткой в канале мелкого моря со взволнованной поверхностью. *Завольский Н.А., Малеханов А.И., Раевский М.А. Акустический журнал.* 2019, № 5, с. 608-618. Рус.

Представленное ранее исследование влияния особенностей распространения низкочастотного акустического сигнала в канале мелкого моря в условиях развитого ветрового волнения на характеристики горизонтальной фазированной антенной решетки (ФАР) продолжено с целью сравнительного анализа эффективности различных методов пространственной обработки сигналов. Основное внимание уделено количественным оценкам дополнительного выигрыша оптимальной обработки по величине коэффициента усиления антенны в сравнении со стандартным методом ФАР, компенсированной в направлении на источник сигнала, в зависимости от основных параметров задачи — направления на источник и расстояния до него, скорости ветра, волновых размеров антенны. Численное моделирование выполнено для гидрологических условий, характерных для Баренцева моря в зимний период, частоты сигнала 250 Гц и в широком интервале расстояний до 500 км. Показано, что дополнительный выигрыш оптимизации обработки может меняться в широких пределах (от долей до нескольких дБ), при

этом эффективность ФАР также варьирует в широких пределах и может иметь немонотонную зависимость от дистанции.

19.05-01.168 Спадание средней интенсивности звукового поля в мелководных волноводах с наклонным дном. *Луньков А.А., Шерменева М.А. Акустический журнал.* 2019, № 5, с. 630-640. Рус.

Аналитически показано, что для мелководного волновода может существовать “оптимальный” профиль дна, при котором потери энергии с расстоянием будут минимальны при условии фиксированных начальной и конечной глубин и монотонном возрастании глубины. Приведенные аналитические оценки методом нормальных мод подтверждают численный экспериментом с использованием широкоугольного параболического уравнения. Для “оптимального” профиля исследованы особенности поведения звукового поля, его интенсивность при удалении от источника, а также взаимодействие между модами.

19.05-01.169 Методика оценки параметров измеренных на Сахалинском шельфе акустических импульсов для многофакторного анализа их влияния на серых китов. *Рутенко А.Н., Гриценко В.А., Ковзель Д.Г., Манульчев Д.С., Фершалов М.Ю. Акустический журнал.* 2019, № 5, с. 662-674. Рус.

В 2015 г. во время проведения сейсморазведок на северо-восточном шельфе о. Сахалин у дна в точках, расположенных на границах и внутри районов летне-осеннего нагула серых китов, проводились стационарные измерения вариаций акустического давления в частотном диапазоне 2–15000 Гц с динамическим диапазоном 145 дБ. В акустическом мониторинге были задействованы 40 автономных подводных регистраторов. Суммарная продолжительность акустических измерений составила 4312 суток. Целью представленного в статье мониторинга было получение оценок параметров акустических импульсов, сформированных на шельфе сейсморазведочными сигналами и забивкой фундаментных свай на берегу, для многофакторного корреляционного анализа влияния данных работ и исследований на поведение серых китов.

19.05-01.170 Экспериментально-теоретическое определение предельной амплитуды и минимальной длительности уединенных волн в слабодиспергирующем мелком море. *Новотрясов В.В., Пермьяков М.С. Прикладная механика и техническая физика.* 2019, № 3, с. 67-72. Рус.

Представлены результаты анализа натуральных измерений волнового бора на пикноклине мелкого моря, выполненных с помощью вертикально расположенных термисторов. Для гидродинамической интерпретации пространственно-временной структуры бора используется математическая модель слабодисперсного мелкого моря, в которой учитывается влияние кубической нелинейности и низкочастотной дисперсии. Определены предельная амплитуда и минимальная длительность солитонных решений модели. Предложен алгоритм оценки указанных параметров на основе данных измерений пульсаций изотерм, индуцированных бором. Выполнены оценки предельной амплитуды и минимальной длительности уединенных волн на пикноклине в прибрежной зоне Японского моря.

Статистическая гидроакустика

19.05-01.171 Метод учета заполненности ячеек для решения задач гидродинамики со сложной геометрией расчетной области. *Сухинов А.И., Чистяков А.Е., Проценко Е.А., Сидорякина В.В., Проценко С.В. Мат. моделир.* 2019, № 8, с. 79-100. Рус.

Рассматривается развитие и применение метода учета заполненности прямоугольных ячеек материальной средой, в частности, жидкостью для повышения гладкости и точности конечноразностного решения задач гидродинамики со сложной формой граничной поверхности. Для исследования возможностей предлагаемого метода рассмотрены две задачи вычисления гидродинамики — пространственно-двумерного течения вязкой жидкости между двумя соосными полуцилиндрами и пространственно-трехмерная задача волновой гидродинамики — распространения волны в прибрежной зоне и ее выхода на

осу. Для решения поставленных задач используются прямоугольные сетки, учитывающие заполненность ячеек. Аппроксимация задач во времени выполнена на основе схем расщепления по физическим процессам, а по пространственным переменным — на основе интегро-интерполяционного метода с учетом заполненности ячеек и без ее учета. Для оценки точности численного решения первой задачи в качестве эталона используется аналитическое решение, описывающее течение Куэтта—Тейлора. Моделирование производилось на последовательности ступающихся расчетных сеток размерами: 11×21 , 21×41 , 41×81 и 81×161 узлов в случае применения метода и без его использования. В случае непосредственного использования прямоугольных сеток (ступенчатой аппроксимации границ) относительная погрешность расчетов достигает 70%; при тех же условиях использование предлагаемого метода позволяет уменьшить погрешность до 6%. Показано, что дробление прямоугольной сетки в 2–8 раз по каждому из пространственных направлений не приводит к такому же повышению точности, которой обладают численные решения, полученные с учетом заполненности ячеек.

Подводные приложения нелинейной акустики, взрывы

19.05-01.172 Воздействие близкого подводного взрыва на элементы корпусных конструкций. Дульнев А.И. Труды Крыловского государственного научного центра. 2019, № 1, с. 73-92. Рус.

Объект и цель научной работы. Исследование особенностей деформирования и разрушения многопреградных металлических конструкций и образцов полимерных композиционных материалов (ПКМ) при воздействии близкого подводного взрыва, а также подкрепленных цилиндрических оболочек при совместном действии взрыва и гидростатического давления. Материалы и методы. Исследования базируются на результатах испытаний, проведенных во взрывной камере ФГУП «Крыловский государственный научный центр», и компьютерном моделировании процессов подводного взрыва и деформирования конструкций. Основные результаты. Впервые показано, что определяющее влияние на характер и параметры деформирования цилиндрической оболочки, подкрепленной круговыми ребрами жесткости, в условиях совместного действия на оболочку близкого подводного взрыва и большого гидростатического давления (5–7 МПа) оказывает вторая пульсация пузыря. Установлено, что взрывостойкость образцов из стеклопластика примерно вдвое выше взрывостойкости образцов из углепластика по критерию начала разрыва волокон. Выявлено влияние основных конструктивных параметров многопреградных конструкций на их взрывоспротивляемость. Заключение. Результаты исследований могут быть использованы при создании конструкций, эффективно сопротивляющихся воздействию близкого подводного взрыва.

19.05-01.173 Вероятностная оценка опасности цунами на побережье египта в районе возводимой АЭС "Эль-Дабаа". Зайцев А.И., Дмитриев С.М., Куркин А.А., Пелиновский Е.Н. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. 2019, № 2, с. 81-89. Рус.

Необходимость оценки опасности цунами на побережье Египта возникла в связи со строительством атомной станции "Эль-Дабаа" (координаты $28,5270^\circ$ в.д., $31,1032^\circ$ с.ш.), тендер на который выиграла российская корпорация "Росатом". Для анализа долговременной опасности цунами использован популярный в настоящее время метод РТНА, основанный на статистическом анализе большого числа реальных и прогностических землетрясений с последующим расчетом волн цунами от возможных землетрясений. Показано, что предсказываемый уровень подъема воды в районе АЭС составляет 6 ± 2 м на период 10 тыс. лет.

19.05-01.174 Исследование нелинейных эффектов при взаимодействии волн типа цунами с подводными барьерами. Бошнятов В.В., Жильцов К.Н. Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2019, № 3, с. 37–52. Рус.

Приведены результаты исследования нелинейных эффектов

при взаимодействии длинных гравитационных волн типа цунами с подводными барьерами. В качестве математической модели использованы двумерные уравнения Навье—Стокса в приближении несжимаемой жидкости. Численные результаты получены методом конечных объемов с использованием открытого пакета OpenFOAM. Получены новые данные по исследованию эффективности тонкого и непроницаемого подводного барьера. Показано, что при значениях параметра нелинейности волны больше 0.1 подводный барьер оптимальной высоты гасит около 80% энергии падающей волны.. DOI: 10.17223/19988621/59/5.

19.05-01.175 Накат нелинейной монохроматической волны на плоский откос в присутствии прилива. Диденкулова И.И., Пелиновский Е.Н. Океанология. 2019. 59, № 4, с. 529-532. Рус.

Решается нелинейная задача теории мелкой воды о накате длинной волны на плоский откос в присутствии прилива с помощью преобразования Карриера—Гринспана. Получено точное решение нелинейной задачи для высоты наката в зависимости от амплитуды падающей волны, и исследовано влияние прилива на характеристики наката волн на берег.

Акустика морских осадков, ледяного покрова, подводная сейсмоакустика

19.05-01.176 О некоторых особенностях динамики автономного подводного робота при управлении эквидистантным движением вблизи дна. Киселев Л.В., Медведев А.В. Гироскопия и навигация. 2019. 27, № 1, с. 93-106. Рус.

Выполнение поисково-обследовательских миссий автономного подводного робота связано, как правило, с движением по эквидистантным траекториям вблизи дна. Наибольшую сложность по маршруту следования представляет управление движением в вертикальной плоскости при наличии препятствий, связанных с рельефом дна. При обнаружении препятствий с помощью многоканальной эхолотационной системы переднего обзора обеспечивается эквидистантное движение подводного аппарата с отслеживанием профиля рельефа дна. Исследована динамическая модель движения с заданными требованиями к структуре и параметрам управления. Приведен сравнительный анализ динамических свойств системы управления в зависимости от конструктивных и функциональных особенностей исполнительных органов и дальномерной эхолотационной системы.

19.05-01.177 Фазовый переход вода—лед в ненасыщенном грунте при наличии капиллярного давления. Цыпкин Г.Г. Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2019, № 5, с. 93-101. Рус.

Сформулирована задача образования льда в ненасыщенном грунте при наличии градиента давления и капиллярных сил. Выведена полная система условий на поверхности кристаллизации. Проведено исследование одномерной задачи в автомобильной постановке. Исследована зависимость количества образующегося льда от параметров задачи. Получено, что при снижении давления на охлаждающей стенке, вызывающем подток воды к фронту, а также при более интенсивном режиме охлаждения, насыщенность образующегося льда увеличивается. Увеличение давления приводит к оттоку воды от фронта и уменьшению льдонасыщенности.

19.05-01.178 Звуковое поле в морском волноводе с цилиндрической неоднородностью. Папкова Ю.И., Папков С.О. Акустический журнал. 2019. 65, № 5, с. 650-661. Рус.

Построено трехмерное аналитическое решение для модели неоднородного гидроакустического волновода с цилиндрической неоднородностью внутри осадочного слоя. Предложен численно-аналитический метод нахождения потенциала скоростей, при котором неопределенные коэффициенты при нормальных модах определяются из соответствующей бесконечной системы линейных алгебраических уравнений. Исследовано асимптотическое поведение амплитудных коэффициентов в системе. Проведено численное исследование звуковых полей при варьировании параметров задачи.

19.05-01.179 Томографическая оценка параметров водоема при наличии ледового покрова с использованием сейсмоакустических излучателей. *Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Груздев П.Д., Игнатьев В.И., Коньков А.И., Мореев А.Ю., Тарасов А.В., Шувалов А.А., Шуруп А.С. Акустический журнал.* 2019. 65, № 5, с. 688-698. Рус.

Представлены результаты натурных испытаний в ледовых условиях Ладожского озера морских сейсмозаведочных излучателей и площадной измерительной сейсмоакустической системы на основе автономных буев вмораживаемого типа. Демонстрируется возможность выделения в принимаемом сигнале отдельных мод, распространяющихся в системе “ледовый покров—водный слой—слой осадков—упругое полупространство”. Предложена итерационная томографическая схема, позволяющая восстанавливать сильноконтрастные скоростные аномалии в рассматриваемой слоистой среде. Приводятся результаты томографической оценки характеристик дна, водного слоя и ледового слоя в активном режиме.

19.05-01.180 Экспериментальные оценки горизонтальной корреляции эхосигналов от дна Норвежского моря. *Львов К.П. Гидроакустика.* 2019, № 38-1, с. 35-39. Рус.

Приведены экспериментальные оценки коэффициентов пространственно-временной корреляции от двух каналов приема плоской многоэлементной антенной решетки в плоскости днища корабля при нормальном падении звуковых волн на дно. Полученные оценки сравниваются с известными, общедоступными оценками из экспериментальных работ Акустического института для других районов Мирового океана.

19.05-01.181 Особенности глубоководного приёма импульсных псевдослучайных сигналов при распространении из шельфа в глубокое море. *Ажуличев В.А., Моргунов Ю.Н., Голов А.А., Каменев С.И., Петров П.С. Доклады академии наук.* 2019. 487, № 3, с. 322-327. Рус.

Обсуждаются результаты эксперимента, проведённого в сентябре 2017 г., для обоснования применимости эффекта “акустического оползня” при решении задач позиционирования автономных подводных аппаратов в случае их функционирования на глубинах, существенно превышающих глубину оси подводного звукового канала. Приводятся результаты экспериментальных исследований и численного анализа эффекта фокусировки акустической энергии в придонном слое на шельфе и переходе её в глубоководные (до 500 м) слои Японского моря для летне-осенних гидрологических условий. Выполнено математическое моделирование распространения акустических волн в модельном волноводе, воспроизводящем условия эксперимента, с применением метода параболического уравнения. Наблюдаемые эффективные скорости распространения сигналов объяснены с использованием метода нормальных волн.

19.05-01.182 Особенности распространения звука при наличии пузырьковых облаков в возмущённом приповерхностном слое океана. *Ажуличев В.А., Буланов В.А., Бугаева Л.К. Доклады академии наук.* 2019. 487, № 6, с. 691-695. Рус.

Имеются противоречивые мнения о вкладе приповерхностного слоя пузырьков в затухание низкочастотного звука в океане. С учётом новых экспериментальных данных по распределению пузырьков в морской воде показано, что влияние приповерхностного слоя пузырьков на структуру пространственного спада при распространении звука может быть значительным при достаточно типичных концентрациях пузырьков в приповерхностных слоях океана. Возможное объяснение противоречий — пространственная перестройка структуры поля, при которой основной эффект воздействия пузырьков сосредоточен на ближайшей дистанции, в то же время не оказывая влияния на затухание звука на дальнем расстоянии.

См. также **19.05-01.164**, **19.05-01.168**

Подводные шумы, механизмы генерации и характеристики полей

19.05-01.183 Обнаружение амплитудной модуляции подводного шумоизлучения морских судов при качке на фоне сверхнизкочастотных флуктуаций. *Консон А.Д., Волжова А.А. Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2019. 12, № 2, с. 12-19. Рус.

Проведен анализ влияния сверхнизкочастотных (с частотой ниже 0.05 Гц) флуктуаций подводного шумоизлучения морских судов на возможность выделения амплитудной модуляции сигнала, существующей в диапазоне частот качки морских судов на взволнованной поверхности (от 0.03 до 0.5 Гц). На основе анализа записей сигналов, полученных в натуральных условиях, определены возможные характерные варианты спектров сверхнизкочастотных флуктуаций. Наблюдалось, что сверхнизкочастотные могут проявляться в отдельных диапазонах общей полосы частот несущего сигнала (от 0.5 до 8.0 кГц). Предложены различные гипотезы о природе образования сверхнизкочастотных флуктуаций в зависимости от гидролого-акустических условий. Показано, что сверхнизкочастотные флуктуации могут оказывать негативное влияние на возможность обнаружения амплитудной модуляции. Рассмотрены возможные схемы выделения амплитудной модуляции сигнала в диапазоне частот качки на фоне сверхнизкочастотных флуктуаций. Предложен способ компенсации влияния сверхнизкочастотных флуктуаций для типового устройства обнаружения амплитудной модуляции, обусловленной качкой. Предложенный способ реализован программным образом в составе типового устройства. Показана работоспособность способа на натурных записях шумовых сигналов морских судов.

19.05-01.184 Проблема обнаружения подводных источников шума от леонардо да винчи до наших дней. *Касаткин С.В. Гидроакустика.* 2019, № 38-1, с. 55-63. Рус.

Приведён краткий исторический обзор методов обнаружения подводных источников и критический анализ возможной дальности обнаружения. Обсуждаются определённые сомнения в адекватности классической трактовки приграничного (приповерхностного или придонного) распространения звуковых волн и влияния мягкого экрана на процесс обнаружения шумовых источников. Обоснована альтернативная точка зрения, основанная на использовании несамосопрежённой модельной постановки граничных задач в акустике слоистых сред. Приведены примеры дальнего распространения звуковых волн в случаях приграничного распространения, противоречащие классическому описанию. Приведены примеры использования комбинированного приёмника в придонной области мелкого моря и оценка его потенциальной помехоустойчивости как нового перспективного приёмника шумовых сигналов инфразвукового диапазона.

19.05-01.185 Волновые явления, возникающие при движении нагрузки по свободной поверхности жидкости вдоль кромки ледяного покрова. *Тячева Л.А. Прикладная механика и техническая физика.* 2019. 60, № 3, с. 73-84. Рус.

Методом Винера—Хопфа решена задача о волнах в жидкости и ледяном покрове, возникающих под действием области давления, движущейся по свободной поверхности жидкости вдоль кромки полубесконечного ледяного покрова. Нагрузкой, приложенной в некоторой области, моделируется судно на воздушной подушке, ледяной покров моделируется тонкой упругой пластиной постоянной толщины на поверхности идеальной несжимаемой жидкости конечной глубины. В движущейся системе координат прогиб пластины и возвышение жидкости полагаются установившимися. Исследованы волновые силы, возвышение свободной поверхности жидкости, прогиб и деформации пластины при различных скоростях движения нагрузки. Обнаружено, что при околоскоростных скоростях движения нагрузки ледяной покров оказывает существенное влияние на волновые силы (волновое сопротивление и боковую силу), действующие на движущееся по свободной поверхности тело, причем это влияние является наиболее сильным при малых расстояниях от кромки. Показано, что при некоторых значениях скорости движения, толщины льда и давления нагрузки возможно разрушение ледяного покрова вблизи кромки.

Акустика глобальных масштабов, термометрия и дальняя подводная связь

19.05-01.186 Методы частотной синхронизации OFDM-сигналов в подводном акустическом канале. Methods of frequency synchronization of OFDM signals in an underwater acoustic channel. *Shakhtarin B.I., Chudnikov V.V., Dyabirov R.M. Вестн. МГТУ. Сер. Прогресс.* 2019, № 4, с. 62-70. Англ.

Application of signals with orthogonal frequency division multiplexing in underwater communication systems allows efficient use of the information transfer channel bandwidth and thereby increase the carrying capacity of the system. Among the main distinguishing features of the underwater channel there are the relatively low speed of sound propagation in water, multiple reflections from the water surface and the bottom of the reservoir and the Doppler effect, which leads to compression/stretching of the signal in time. The model of the underwater acoustic channel was developed on the assumption that the signal at the receiver input is a superposition of the signals which are copies of the transmitted signal, but passed through different paths from the transmitter. Each signal has its own amplitude, time delay and degree of compression/stretching in time. For correct demodulation of the orthogonal frequency division of the channel-signal, the receiver must first perform time and frequency synchronization. Time synchronization is performed to determine the beginning of the packet and the symbols' boundaries, and frequency synchronization is necessary for matching the receiver and transmitter sampling frequency to eliminate interchannel interference. For frequency synchronization in a hydroacoustic channel of orthogonal frequency division type, either the preambles invariant to Doppler effect or pilot components of the channel of the orthogonal frequency division type are used. The method based on the synchronization preamble and on a bank of matched filters uses a non-invariant to the Doppler effect preamble at the beginning of the packet. Each filter is matched with a preamble having compression/stretching in time. The autocorrelation method assumes that two identical symbols are included in the transmitted data block for signals with orthogonal frequency division multiplexing, which are used to estimate the scale of signal stretching/compression. The conclusions on the advantages of using orthogonal frequency division multiplexing in an underwater acoustic channel are given.

19.05-01.187 Оценка целесообразности использования метода равномерного поиска для оптимизации параметров модели звукового поля. *Калёнов Е.Н., Покровский А.А., Дубровский А.Ю. Гидроакустика.* 2019, № 38-1, с. 28-34. Рус.

На основе численного моделирования структуры гидроакустического поля рассматривается возможность и целесообразность использования метода равномерного поиска для оценки параметров гидроакустического канала (например, угловой зависимости коэффициента отражения от дна) по записям сигналов, полученным с помощью протяжки излучателя на фиксированных глубинах по заданным трассам.

Активные и пассивные сонарные системы, алгоритмы обработки сигналов

19.05-01.188 Исследование защищенной зеркально-параболической антенны акустического локатора. *Красненко Н.П., Раков А.С., Раков Д.С. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VII Всероссийских Арmandовских чтений, Муром, 27–29 июня 2017 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых".* 2017, с. 444-454. Рус.

Предложена методика расчета диаграмм направленности антенн акустических локаторов по измерениям амплитудного распределения поля на излучающей апертуре. На примере антен-

ны локатора «Звук-4» приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований защищенной зеркально-параболической антенны. Проведено сравнение с характеристиками антенн других локаторов.

19.05-01.189 Идентификация материалов подводных объектов методами гидроакустического зондирования. *Балакин Р.А., Вилков Г.И. Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2019. 12, № 2, с. 3-11. Рус.

Рассмотрены физические механизмы формирования информативных признаков отраженного от объекта акустического эхосигнала, обусловленного упругими свойствами материала объекта. Показано, что под воздействием зондирующего гидроакустического сигнала в облучаемом объекте возникают вынужденные и собственные механические колебания различных видов, в том числе на частотах, не связанных с частотой облучения. Эти колебания имеют достаточную амплитуду и вызывают вторичное индуцированное звуковое излучение, которое складывается с основным отражением, и в результате интерференции возникает суммарный модулированный сигнал, несущий в себе информацию о материале объекта. Основными классификационными признаками, позволяющими идентифицировать материал объекта, являются: волновое сопротивление, скорость поверхностной звуковой волны, частоты собственных резонансных колебаний и декремент их затухания. Описаны результаты проведенных лабораторных экспериментов по распознаванию материала объекта методом гидроакустической эхолокации. Определены направления и задачи дальнейших исследований. Для усиления информативных признаков отраженных эхосигналов, особенно для идентификации малогабаритных объектов, требуется оптимизировать характеристики приемно-излучающей аппаратуры в определенном направлении, в том числе характеристики приемно-излучающих антенн. Кроме того, должны быть оптимизированы параметры зондирующих сигналов и алгоритмы обработки отраженных сигналов.

19.05-01.190 Экспериментальное обоснование эффективности голографической обработки векторно-скалярных сигналов. *Кузнецов Г.Н., Кузькин В.М., Переселов С.А. Гидроакустика.* 2019, № 38-1, с. 15-27. Рус.

Выполнено экспериментальное исследование эффективности голографического метода обнаружения и пеленгования движущегося широкополосного источника в мелком море с применением одиночного малогабаритного векторно-скалярного приемника и буксируемого по различным траекториям широкополосного излучателя. Показано, что голографический метод, как и при обработке по потоку мощности, измеряет пеленг с погрешностью не более, чем погрешность оценки пеленга скалярной антенной с апертурой 100 м, но обладает повышенной помехоустойчивостью обнаружения и однозначностью не только оценки пеленга, но и координат движущегося источника.

19.05-01.191 Классификация цели при накоплении информации по нескольким циклам "излучения—приема". *Тимошенко В.Г. Гидроакустика.* 2019, № 38-1, с. 40-46. Рус.

Рассматриваются вопросы, связанные с выделением структурных классификационных признаков при накоплении информации по нескольким циклам «излучения—приема». Получена оценка вероятности правильной классификации портрета по выделенным признакам с использованием оценки вероятности ложной тревоги. Показано, что накопление информации повышает вероятность правильной классификации, но для реализации необходимо обеспечение достоверности исходных данных. Приведена проверка с использованием последовательности реальных эхосигналов от многогабаритного объекта, которая показала сомнительность предлагаемой процедуры накопления.

19.05-01.192 Создание систем технического диагностирования гидроакустических комплексов. *Красников И.А., Родимова Р.И. Гидроакустика.* 2019, № 38-1, с. 47-54. Рус.

Рассмотрен исторический ход событий, который привел к созданию систем технического диагностирования гидроакустического комплекса. Показано развитие систем диагностирования от простых сигнальных систем к сложным программно-

аппаратным решениям. Раскрыта идея прогнозирования технического состояния как следующий этап развития диагностики комплексов.

19.05-01.193 Создание нового поколения гидроакустических средств с использованием первых образцов цифровой вычислительной техники (1966—1975 гг.) (Первая часть). *Беркутов Р.Н., Попов В.А., Селезнев И.А. Гидроакустика.* 2019, № 38-1, с. 64-72. Рус.

Гидроакустические преобразователи и антенны

19.05-01.194 Оценка влияния неидентичности параметров элементов акустической антенной решетки на её диаграмму направленности. *Красненко Н.П., Раков А.С., Раков Д.С. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы II Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VIII Всероссийских Арmandовских чтений, Муром, 26—28 июня 2018 г.* Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018, с. 650-655. Рус.

Рассмотрены вопросы построения акустической антенной решетки и влияния разброса амплитудно-частотных характеристик единичных элементов на её диаграмму направленности. На примере 25 элементной антенной решетки рассмотрен процесс формирования оптимальной конфигурации расположения элементов в решетке. Описан метод расчета диаграммы направленности антенных решеток.

19.05-01.195 Измерение электромеханических характеристик компактного низкочастотного гидроакустического излучателя сложной формы. *Бритенков А.К., Боголюбов Б.Н., Дерябин М.С., Фарфель В.А. Труды МАИ.* 2019, № 105, с. 3. Рус.

Низкочастотные гидроакустические излучатели применяются в широком спектре практических приложений: от дальней звукоподводной связи и телеуправления до сейсмоакустической разведки. Изготовление корпуса излучателя является одной из самых сложных технологических процедур в процессе создания и настройки. Предложенная конструкция гидроакустического преобразователя с гофрированной излучающей оболочкой позволяет исключить ряд проблем герметизации, устойчивости к гидростатическому давлению, разбросу параметров и надёжности. Для оценки эффективности предложенного излучателя проведены измерения механического коэффициента трансформации. Распределения амплитуд колебаний излучающей оболочки и активного элемента преобразователя получены методом лазерной виброметрии. Приведено сравнение результатов измерений электроакустических характеристик излучателя в воде с результатами оценки его резонансной частоты на основе упрощённой теоретической модели. Проведённые исследования показали перспективность предложенной конструкции излучателя для широкого круга акустических приложений.

19.05-01.196 Применение комбинированного приёмника в качестве гидрофона давления для увеличения помехоподавления. *Петров В.В. Измерительная техника.* 2019, № 5, с. 61-64. Рус.

Рассмотрены алгоритмы увеличения помехоподавления гидрофона. Увеличение достигается в результате использования априорной информации о структуре поверхностного шума среды.

19.05-01.197 Исследование векторно-фазовой структуры звукового поля на гидроакустическом полигоне МГУ для целей пассивной томографии. *Медведева Е.В., Гончаренко Б.И., Шуруп А.С. Ученые записки физического ф-та МГУ.* 2019, № 4, <http://uzmu.phys.msu.ru/toc/2019/4>. Рус.

Приводятся результаты обработки данных натурных измерений векторно-фазовой структуры звукового поля, полученные в ходе эксперимента на гидроакустическом полигоне МГУ летом 2018 г., в котором двумя разнесёнными в пространстве ком-

бинированными приемными модулями (содержащими приемник звукового давления и векторный приемник) регистрировалось шумовое поле акватории при наличии активного судоходства. На основе синхронизованных записей давления и трех взаимно ортогональных проекций колебательной скорости проведена оценка пространственной анизотропии и убывания шумового поля, оценены значения пеленгов на проходящее судно как на звуковой источник. Полученные результаты используются для экспериментальной апробации алгоритма, позволяющего восстановить взаимную ориентацию каналов векторных приемников, установленных на дно акватории в различных географических точках. Предложенный подход позволяет упростить техническую сторону проведения экспериментов с разнесёнными в пространстве комбинированными приемными модулями, так как не требует дополнительных процедур по контролю ориентации каналов векторных приемников при их установке на дно акватории. Полученные результаты могут быть использованы при построении схем пассивной томографии шельфовых морей с упрощёнными требованиями на их практическую реализацию.

19.05-01.198 Аппаратура акустической связи для контроля работы автономной гидроакустической донной станции на шельфе. *Ковзель Д.Г. Акустический журнал.* 2019, 65, № 5, с. 619-629. Рус.

Представлена аппаратура акустической связи с донными станциями гидроакустического комплекса "Шельф-2014" — встроенные акустические модемы донных станций и переносное телекомандное устройство. Описаны основные технические решения, принятые в процессе разработки и подтвержденные рядом проведенных экспериментов. Рассмотрены результаты работы аппаратуры в морских условиях и намечены пути ее дальнейшего развития.

19.05-01.199 О вариационном методе синтеза гидроакустической дискретной антенны. *Жуков В.Б. Гидроакустика.* 2019, № 38-1, с. 5-8. Рус.

Рассмотрена задача синтеза гидроакустической антенной решетки при помощи метода, использующего вариационное исчисление. Установлена взаимосвязь этого метода с решением задачи при обеспечении наилучшей среднеквадратичной аппроксимации заданной характеристики направленности. Ключевые слова: синтез антенной решетки, метод вариаций, условный экстремум, наилучшая среднеквадратичная аппроксимация.

19.05-01.200 О влиянии расстояния между слоями планарной приемной антенны на ее коэффициент концентрации. *Голубев А.Г., Гравин В.О., Попов И.К. Гидроакустика.* 2019, № 38-1, с. 9-14. Рус.

Приведено решение задачи анализа зависимости качества пространственной фильтрации планарной антенны от расстояния между двумя ее слоями. Приведены методика и примеры расчетов указанной зависимости при работе на различных частотах и при различных углах компенсации антенны в горизонтальной плоскости.

19.05-01.201 Зеркальный способ измерения диаграмм направленности в дополнительной (азимутальной) плоскости наклонных пьезопреобразователей. *Коновалов Н.Н., Рафиков Р.Х., Преображенский М.Н. Дефектоскопия.* 2019, № 5, с. 3-10. Рус.

Предложен новый зеркальный способ измерения диаграмм направленности наклонных пьезопреобразователей в дополнительной (азимутальной) плоскости. Проведены измерения диаграмм направленности в дополнительной плоскости для преобразователей с углами ввода от 34 до 70° зеркальным способом на стальном образце с плоскопараллельными поверхностями. Установлено, что для преобразователей с углами прзмы, близкими к первому критическому (угол ввода 34°), наблюдается расширение угла раскрытия диаграммы направленности в дополнительной плоскости, что может быть объяснено участием в ее формировании преломленной продольной (головной) волны. Показано, что измерения диаграммы направленности в дополнительной плоскости пьезоэлектрических преобразователей эффективно можно проводить в диапазоне азимутальных углов $\pm 15^\circ$ от направления акустической оси.

Компьютерное моделирование в гидрофизике и гидроакустике

19.05-01.202 Методы реализации нейросетевых алгоритмов гидроакустики на базе гетерогенной аппаратной платформы ГРИФОН. *Алексеев Г.Г., Алексеева Е.А., Галаган П.В., Сорокин А.П., Сорокин С.А. Вопросы радиоэлектроники.* 2019, № 5, с. 48-59. Рус.

Последнее время за рубежом повышенный интерес вызывают новые нейросетевые алгоритмы гидроакустики, например, создаются аппаратные средства для тестовых полигонов в Арктике для оценки эффективности обнаружения целей и обеспечения безопасности Севера Канады. Открытая архитектура позволяет адаптировать аппаратуру к новым угрозам или экономическим интересам. Совершенствуется не только аппаратура излучения и приема гидроакустических систем, но и их обработки. В статье обсуждаются пути совершенствования и принципы построения специализированных вычислителей на базе аппаратной платформы ГРИФОН, обеспечивающих управление и обработку сигналов в мобильных и стационарных гидроакустических системах. Рассматривается пример создания комплекса, демонстрирующего возможности аппаратуры и перспективы создания вычислителей с высокими параметрами и минимальными массогабаритными характеристиками. Подробно описаны структура и принципы построения математического обеспечения вычислителей. Приводятся сравнительные характеристики предлагаемых алгоритмов, которые могут быть использованы для оптимизации трактов обработки сигналов и объема цифровой аппаратуры.

19.05-01.203 Аппаратно-программный комплекс цифровой обработки гидроакустических сигналов. *Колтаков С.А., Черепнев А.А. Вопросы радиоэлектроники.* 2019, № 5, с. 60-63. Рус.

Рассмотрены аппаратно — программный комплекс (АПК) на базе отладочного стенда, его состав, модули и выполняемые операции. Описан способ синтезирования выходного сигнала, предложены формула и таблица параметров для его расчета.

Показаны сигналы и спектры на входе и выходе разработанного АПК. Приведены полученные параметры быстродействия АПК на базе сигнального процессора с процессором общего назначения и двух вариантов с процессорами общего назначения. Предлагаемый вариант АПК в 2—3 раза выигрывает в быстродействии по сравнению с вариантом на базе процессора общего назначения фирмы Intel. Это достигнуто благодаря применению современных методов и средств программирования, модулей цифровой обработки сигналов, а также оптимизации исполняемого кода. Даны рекомендации по дальнейшему совершенствованию предлагаемого комплекса, что возможно благодаря использованию современных ПЛИС и высокоскоростного интерфейса.

См. также **19.05-01.162**

Лабораторное экспериментальное моделирование

19.05-01.204 Апробация лабораторного макета регистрации сигналов дельфинов с расширенной полосой частот сквозного тракта. *Иванов М.П., Бутов С.Н., Леонова Л.Е., Романовская Е.В., Стефанов В.Е. Акустический журнал.* 2019. 65, № 5, с. 699-707. Рус.

Новые технологии цифровой записи широкополосных сложных сигналов позволили разработать и создать лабораторный автономный многоканальный комплекс регистрации биоакустической активности на цифровой носитель с низким энергопотреблением и возможностью непрерывной записи до четырех часов. Комплекс работает под управлением компьютера fit-PC с операционной системой Windows и программой цифровой записи PowerGraph в полосе частот аналогового тракта до 600 кГц. В процессе проверки комплекса получены парадоксальные сигналы зубатых китов с частотной полосой выше 200 кГц. Сигналы с расширенной частотной полосой регистрировались в условиях лабораторного эксперимента в открытой воде при решении задачи сопровождения цели и в эксперименте с провокацией акустического коммуникационного поведения.

Атмосферная и аэроакустика

Инфразвуковые и акустико-гравитационные волны

19.05-01.205 Регистрация инфразвуковых возмущений тайфунов лазерными деформографами. *Чупин В.А., Долгих Г.И., Гусев Е.С. Научно-технич. ведомости Санкт-Петербургского гос. политехнич. ун-та. Физ.-мат. н.* 2019. 12, № 1, с. 117-127. Рус.

Приводится описание натуральных наблюдений мощных инфразвуковых возмущений в диапазоне «голоса моря» (7—9 Гц), вызванных прохождением тропических циклонов (тайфунов) в юго-восточном районе Дальневосточного федерального округа России и акватории Японского моря. Регистрация каждого события выполняется с помощью лазерно-интерференционного измерительного комплекса, стационарно расположенного на юге Приморского края. Проанализированы динамические спектрограммы наблюдаемых событий и прослежена их связь с метеорологическими явлениями, такими как ветер и морские волны. При использовании спутниковых данных найдена взаимосвязь распределения области влияния тайфунов в регионе с наблюдаемым инфразвуковым возбуждением. Сделаны выводы о взаимосвязи проявления микросейсм «голоса моря» с возникновением первичных и вторичных микросейсм, а также хорошей корреляции между исчезновением микросейсм «голоса моря» и соответствующим прекращением первичных микросейсм. Установлено отсутствие зависимости уровня сигнала от скорости ветра в области расположения измерительного полигона.

19.05-01.206 Внутренние гравитационные и инфразвуковые волны во время урагана в Москве 29 мая 2017 г. *Куличков С.Н., Чунгузов И.П., Попов О.Е., Пере-*

пелкин В.Г., Голикова Е.В., Буш Г.А., Ретина И.А., Цыбульская Н.Д., Горчаков Г.И. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. 55, № 2, с. 32-40. Рус.

Приведены данные регистрации внутренних гравитационных волн (ВГВ) и инфразвуковых волн, образовавшихся при прохождении через Москву теплого и холодного фронтов, связанных с атмосферным штормом 29 мая 2017 г. Регистрация волн проводилась на сети 4 микробарографов ИФА—МГУ—Мосрентген—ЗНС, размещенных в Москве и Московской области, и сравнивалась с данными измерений параметров инфразвуковых волн в г. Дубне на станции IS43. Исследуются изменения характеристик ВГВ и инфразвуковых волн (когерентности, азимуты и фазовые скорости распространения, характерные периоды и частотные спектры) с течением времени при прохождении теплого и холодного фронтов. Исследуется также переход от гравитационной к акустической дисперсионной ветви акустико-гравитационных волн с ростом частоты и временная модуляция фазовой скорости инфразвуковых волн, вызванная ВГВ. Приведены данные измерений концентраций аэрозоля PM10 и концентрации газа NO₂ в разных пунктах г. Москвы в процессе приближения атмосферного шторма. Исследуется возможность обнаружения волновых предвестников атмосферных штормов одновременно в вариациях атмосферного давления, скорости ветра и концентрациях примесей.

19.05-01.207 Гравитационные волны в стратосфере перед сильными землетрясениями в регионах Азии. *Свердлов Л.Г., Имашев С.А. Вестник Кыргызско-Российского Славянского ун-та.* 2018. 18, № 12, с. 149-155. Рус.

На основе данных спутникового дистанционного зондирования проведено экспериментальное исследование

пространственно-временной структуры и динамики волновых процессов в стратосфере, которые наблюдаются перед сильными землетрясениями в Азии. Приведена оценка параметров периодических компонентов температуры стратосферы, выделены локализованные в пространстве и во времени преобладающие по амплитуде колебания, а также определены их энергетические спектры. Вариации температуры стратосферы, синхронизированные с фазой подготовки землетрясений, имеют связь с акустико-гравитационными волнами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наиболее вероятным источником этих флуктуаций могут быть землетрясения.

Распространение в стационарной атмосфере, метеорологические факторы

19.05-01.208 Распространение сейсмо-индуцированных акустических волн в стратифицированной атмосфере и акустическое воздействие на ее состояние. *Гусев В.А., Жостков Р.А. Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16—19 июня 2015 г.* М.: ГЕОС. 2015, с. 25-26. Рус.

Распространение и рассеяние на турбулентности и на неоднородных течениях

19.05-01.209 Смешанные корреляторы скорости и градиентов скорости в изотропной турбулентности. *Копьев А.В., Зыбин К.П. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 192. Рус.

На основании колмогоровского закона «четырёх пятых» получены аналитические соотношения для тройных двухточечных корреляций градиентов скорости и скорости в изотропной несжимаемой турбулентности. Соответствующий тензор корреляции выражен через скорость диссипации, корреляционную функцию скорости второго порядка и новые скалярные функции. Некоторые его компоненты не зависят от новых функций. Результаты согласуются с данными прямого численного расчёта. Одна из функций аппроксимируется в инерционном интервале константой, зависящей только от скорости диссипации. Обсуждается значение полученных корреляторов в теории турбулентного транспорта.

19.05-01.210 О флуктуациях температуры в изотропном турбулентном потоке. *Ильин А.С., Сирота В.А., Зыбин К.П. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 193. Рус.

Анализируется перенос флуктуаций температуры изотропным турбулентным потоком в режиме Бетчелора. Статистика скорости потока выбирается произвольной. Свойства флуктуаций температуры выводятся из статистических свойств скорости; получены аналитические выражения для их статистических моментов. Показано, что статистика флуктуаций температуры может существенно отличаться от полученной в рамках гауссовой модели Крайчана.

19.05-01.211 Локализация ультразвука при скольжении распространении в турбулентном потоке воздуха. *Бычкова И.Ю., Бычков А.В., Славутский Л.А. Южно-Сибирский научный вестник.* 2019, № 2, с. 18-22. Рус.

Проводится теоретический и экспериментальный анализ рассеяния ультразвуковых импульсов на границе турбулентного потока воздуха. Для теоретических оценок используется решение задачи отражения плоской волны от слоя случайно-неоднородной среды методом инвариантного погружения. Показано, что в зависимости от масштабов и интенсивности случайных флуктуаций скорости звука существенно меняются не только амплитуда и фаза сигнала, но и пространственно-временные масштабы импульса, его временная задержка. Экспериментальные исследования проведены по многолучевой схе-

ме, когда сигнал в приемнике представляет собой суперпозицию импульсов, пришедших по разным траекториям. Для оценки малых временных задержек использована цифровая фазовая модуляция и корреляционная обработка сигналов. Показано, что в турбулентном слое на границе воздушного потока вентилятора за счет эффекта локализации реализуется волновое распространение ультразвука со значительным изменением задержки ультразвукового сигнала.

19.05-01.212 Расчет движения вязкой жидкости, частично заполняющей вращающуюся полость, при больших числах Рейнольдса. *Пивоваров Ю.В. Вычислительные технологии.* 2019. 24, № 3, с. 88-105. Рус.

Рассматривается плоскопараллельное стационарное движение вязкой несжимаемой жидкости, частично заполняющей цилиндрическую вращающуюся полость. Предполагается, что область с невозмущенной свободной границей является полукругом. Она конформно отображается на полосу таким образом, что ее угловые точки переходят в бесконечно удаленные точки полосы. При численном счете на боковых разрезах полосы ставятся асимптотические условия для вихря и функции тока, а на образе границы с твердой стенкой — условия проскальзывания Навье. После решения задачи в полукруге из условий для нормальных напряжений находится форма возмущенной свободной границы.

19.05-01.213 Влияние частоты импульсов на структуру течения и теплообмен в импактной газонасыщенной турбулентной струе. *Пахомов М.А., Терехов В.И. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 4, с. 49-62. Рус.

Выполнено численное моделирование турбулентной структуры течения и теплообмена в нестационарной пузырьковой круглой импактной струе при вариации частоты импульсов. Математическая модель основана на использовании Эйлерова подхода для описания динамики течения и теплообмена в дисперсной фазе (воздушные пузырьки). Задача рассматривается в осесимметричной постановке и решается система нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса с учетом двухфазности потока. Турбулентность несущей фазы (жидкость) описывается с использованием модели переноса компонент рейнольдсовых напряжений с учетом влияния пузырьков на генерацию турбулентности. Исследовано влияние частоты подачи импульсов на структуру течения и теплоперенос в газожидкостной импактной струе. Импульсный характер подачи струи вызывает как заметное увеличение турбулентности жидкости и теплопереноса в период действия импульса (до 2 раз), так значительное подавление этих параметров в период отсутствия подачи струи в сравнении со стационарной импактной пузырьковой струей при том же самом осредненном по времени расходе струи.

19.05-01.214 О двух механизмах шумообразования в турбулентных струях. *Крашенинников С.Ю., Семечёв П.А. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 5, с. 26-39. Рус.

Анализируются особенности процессов шумообразования в турбулентных струйных течениях. Рассмотрены два возможных процесса: шум диссипирующей турбулентности и шум, создаваемый крупномасштабными возмущениями в турбулентном потоке, сопровождающими распространение турбулентных струй. Для оценки первого указанного эффекта использованы данные теории и экспериментальных исследований статистической теории турбулентности. Для анализа процесса образования шума крупномасштабными возмущениями использованы данные вычислительных экспериментов, в которых проводился непосредственный нестационарный расчет течения в дозвуковых турбулентных струях при использовании LES технологии, а также данные экспериментов. Показано, что шум крупномасштабных возмущений удовлетворительно воспроизводится при вычислительном моделировании и его свойства соответствуют экспериментам по исследованию шумообразования в струях; вклад шума диссипирующей турбулентности в общей шум струи представляется незначительным.

19.05-01.215 Оптимальные возмущения устойчиво-стратифицированного турбулентного течения Куэтта.

Глазунов А.В., Засько Г.В., Мортиков Е.В., Нечепуренко Ю.М. Доклады академии наук. 2019. 487, № 3, с. 257-261. Рус.

В данных прямого численного моделирования устойчиво-стратифицированного турбулентного течения Куэтта выделены два типа организованных структур — валики, возникающие при нейтральной и близкой к нейтральной стратификации, и слоистые структуры, проявляющиеся при увеличении статической устойчивости. Показано, что оба типа структур имеют пространственные масштабы и конфигурацию, совпадающие с масштабами и конфигурацией соответствующих оптимальных возмущений упрощенной линейной модели данного течения при тех же числах Ричардсона.

См. также **19.05-01.54**

Аэро-термо-акустика и акустика горения

19.05-01.216 Неустойчивость сферического фронта горения как источник звука с дискретными модами. **Трилис А.В., Сухинин С.В., Юрковский В.С.** Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 211-212. Рус.

В рамках акустического приближения проведено исследование линейной модовой устойчивости сферического фронта дефлаграционного горения Чепмена—Жуге в сферически расходящемся дозвуковом потоке горючей смеси с малым числом Маха.

19.05-01.217 Спектральные характеристики рабочего процесса в камерах сгорания гвп при комплексном воздействии энтропийных и акустических волн. **Александров В.Ю., Арефьев К.Ю., Ильченко М.А.** Известия Российской академии наук. Энергетика. 2017, № 2, с. 128-141. Рус.

Работа посвящена расчетно-экспериментальному исследованию процесса распространения высокочастотных акустических волн и низкочастотных волн энтропии в камерах сгорания (КС) генераторов высокоэнтальпийных потоков (ГВП). Представлена физико-математическая модель, позволяющая прогнозировать характерные частоты акустических колебаний и волн энтропии. В результате проведенных расчетов определены диапазоны значений акустических проводимостей в граничных сечениях у форсуночной головки и в выходном сечении ГВП. Представлены результаты экспериментальных исследований пульсаций давления и температуры в потоках реагирующего газа внутри КС ГВП. Выполнен спектральный анализ полученных данных при возбуждении продольных акустических форм колебаний газа, а также пульсаций давления и температуры при колебаниях теплоподвода в зоне горения. Экспериментально определены амплитуды пульсаций давления и температуры в КС ГВП на различных режимах работы при возникновении неустойчивого горения. Разработанная физико-математическая модель и полученные с ее помощью результаты могут быть использованы при проектировании и экспериментальной отработке энергосиловых установок авиационно-космических систем, стендовых газогенераторов, огневых подогревателей воздушного потока, технологического оборудования для напыления покрытий и абразивной резки материалов.

19.05-01.218 Моделирование режимов наклонных детонационных волн, возникающих при инициировании детонации снарядом малого диаметра. **Бедарев И.А., Темербеков В.М., Федоров А.В.** Теплофиз. и аэромех. 2019, № 1, с. 63-73. Рус.

Выполнены численные исследования инициирования детонации в реагирующей водород-кислородной смеси сферическим снарядом малого диаметра, летящим со скоростью, превышающей скорость Чепмена—Жуге. Математическая модель основана на приведенной кинетической схеме для описания химических реакций. При верификации расчетного алгоритма проведено сравнение режимов течения и размера детонационной ячейки для численных и экспериментальных данных. Получено

согласование расчетных и экспериментальных картин течения, количественное соответствие режимов существования наклонных детонационных волн.

19.05-01.219 Способ сохранения ориентации плоского ударника, ускоряемого в канале сжатым газом. **Гук Д.Е., Мешков Е.Е.** Письма в Журнал технической физики. 2019. 45, № 14, с. 17-19. Рус.

Задача ускорения в цилиндрическом канале сжатым газом (в частности, продуктами детонации смеси ацетилен с кислородом) тонкого плоского ударника имеет отношение к проблеме падающего листа бумаги поскольку движение ударника в канале неустойчиво по отношению к боковому смещению. Это может приводить к нарушению симметрии полета ударника, его перекосу и резкому снижению достигаемой скорости ударника. Экспериментально показана возможность сохранения ориентации ударника за счет ограничения его бокового смещения путем равномерного расположения на внутренней поверхности канала (по образующим поверхности) нескольких тонких нитей полимерной лески. Ключевые слова: плоский тонкий ударник, сжатый газ, ограничение бокового смещения ударника, удар по слою воды.

См. также **19.05-01.157**

Ударные и взрывные волны, звуковой удар

19.05-01.220 Метод декартовых сеток для трехмерного численного моделирования распространения ударных волн в областях сложной формы с подвижными границами. **Елесин В.В., Сидоренко Д.А., Уткин П.С.** Вычисл. методы и программир. 2019. 20, № 3, с. 309-322. Рус.

Статья посвящена разработке и количественной оценке свойств вычислительного алгоритма метода декартовых сеток для трехмерного математического моделирования распространения ударных волн в областях сложной изменяющейся формы. Представлено подробное описание вычислительного алгоритма, ключевым элементом которого является определение численного потока через грани, по которым внутренние, регулярные ячейки расчетной области соседствуют с внешними, пересекаемыми границами тел ячейками. Работоспособность алгоритма продемонстрирована в результате сравнения рассчитанных и экспериментальных данных в задачах о взаимодействии ударной волны с неподвижной сферой и подвижной частицей.

19.05-01.221 Модификация метода крупных частиц для решения задач распространения ударных волн и волн разрежения. **Ковалев Ю.М., Кузнецов П.А.** Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2019. 12, № 2, с. 58-66. Рус.

Предложена модификация метода крупных частиц. Проведен численный анализ различных модификаций метода крупных частиц применительно к задачам волновой динамики (газовой динамики). Решены задачи расчета распада произвольного разрыва, а также задачи о распространении стационарных ударных волн с отражением от жесткой стенки. Было показано, что предложенная модификация метода крупных частиц наилучшим образом совпадает с аналитическим решением задачи об отражении плоской ударной волны от жесткой стенки. Проведенный численный анализ показал, что данная модификация позволяет проводить устойчивые расчеты течений с большими градиентами изменения параметров. Значительным достоинством предложенной модификации является тот факт, что рассмотренные в работе задачи могут быть решены без введения в законы сохранения "искусственной" вязкости, а также при больших числах Куранта.

19.05-01.222 Результаты численного моделирования в методике "ЛЭГАК" изменения ударно-волновой чувствительности ВВ типа ТАТБ при многократном воздействии ударных волн. **Володина Н.А., Титова В.Б., Ширинова М.О.** Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. 2019, № 2, с. 37-49. Рус.

Представлены результаты работы по развитию кинетической модели детонации МК в методике ЛЭГАК для универсального учета зависимости ударно-волновой чувствительности ВВ на основе ТАТБ от его состояния перед фронтом инициирующей ударной волны. Изменения в модели коснулись формулы, "отвечающей" за плотность рождения горячих очагов разложения ВВ вблизи фронта ударной волны, а также алгоритма выделения фронта ударной волны и анализа состояния вещества перед этим фронтом. Реализованная модификация модели кинетики МК протестирована на экспериментальных данных для ВВ на основе ТАТБ при начальных плотностях $1,3 \text{ г/см}^3 \leq \rho_0 \leq 1,91 \text{ г/см}^3$. Предложенный алгоритм позволяет автоматически учитывать состояние ВВ перед фронтом ударной волны и единым образом описывать экспериментальные данные как по сенсбилизации, так и по десенсбилизации ВВ при многократных ударно-волновых воздействиях.

19.05-01.223 Исследование сингулярности течения в тройной точке стационарного нерегулярного маховского отражения ударной волны в плоском канале. *Васильев Е.И. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 5, с. 125-134. Рус.

В рамках модели Эйлера рассмотрена задача стационарного маховского отражения ударной волны в плоском канале с акцентом на исследование параметров течения в тройной точке. В аналитическом исследовании использована локальная теория для криволинейных ударных волн. Получено условие на исходные данные задачи, при которых в тройной точке реализуется сингулярность. В условиях сингулярности градиенты параметров течения и кривизна фронтов ударных волн и тангенциального разрыва в тройной точке обращаются в бесконечность. В численном исследовании использован разностный метод Годунова второго порядка и новая технология стягивающейся к тройной точке сетки в сочетании с выделением разрывов. Расчеты подтвердили аналитически предсказанную границу сингулярности. Дополнительные численные эксперименты показали, что граница сингулярности сохраняется при введении искусственных источников в уравнение энергии. Эти результаты позволяют выдвинуть гипотезу, что сингулярность в тех же границах реализуется и для других двумерных течений с нерегулярным отражением ударных волн.

19.05-01.224 Кавитационное торможение цилиндра с переменным радиусом в жидкости после удара. *Норкин М.В. Вестник Удмуртского ун-та: Математика. Механика. Компьютерные науки.* 2019, 29, № 2, с. 261-274. Рус.

Рассматривается плоская задача о движении кругового цилиндра с переменным радиусом в идеальной, несжимаемой, тяжелой жидкости. Предполагается, что начальное возмущение жидкости вызвано вертикальным и безотрывным ударом цилиндра, погруженного в жидкость. Особенностью этой задачи является то, что при определенных условиях (например, при быстром торможении цилиндра или при быстром уменьшении его радиуса), происходит отрыв жидкости от тела, в результате которого вблизи его поверхности образуются присоединенные каверны. Формы внутренних свободных границ и конфигурация внешней свободной границы заранее неизвестны и подлежат определению в ходе решения задачи. Формулируется нелинейная задача с односторонними ограничениями, на основе которой определяется связность зоны отрыва, а также формы свободных границ жидкости на малых временах. В случае когда давление на внешней свободной поверхности совпадает с давлением в каверне, строится аналитическое решение задачи. Для определения одной из двух симметричных точек отрыва получено трансцендентное уравнение, содержащее полный эллиптический интеграл первого рода и элементарные функции. При кавитационном торможении недеформируемого цилиндра найдена явная формула для внутренней свободной границы жидкости на малых временах. Показано хорошее согласие аналитических результатов с прямыми численными расчетами. DOI: 10.20537/vm190209.

19.05-01.225 Пульсации плотности и давления в турбулентном течении воздуха и аргона и их взаимодействие с ударной волной. *Докукина О.И., Терентьев Е.Н., Штеменко Л.С., Шугаев Ф.В. Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия.* 2019, № 3, с. 39-43. Рус.

Экспериментально исследованы пульсации плотности и давления в турбулентном течении воздуха и аргона в ударной трубе и их взаимодействие с ударной волной, отраженной от перфорированного торца ударной трубы. Число Маха падающей волны изменялось от 1.9 до 3.9, число Маха отраженной волны — от 1.4 до 2.4. Определен масштаб турбулентных пульсаций за падающей волной. За отраженной волной он в несколько раз меньше. Обнаружено, что давление за фронтом отраженной волны в турбулентном потоке больше соответствующего значения в ламинарном потоке при прочих равных условиях (в аргоме — на 12%, в воздухе на 9%).

19.05-01.226 О спонтанно излучающих ударных волнах. *Куликовский А.Г., Ильичев А.Т., Чугайнова А.П., Шаргатов В.А. Доклады академии наук.* 2019, 487, № 1, с. 28-31. Рус.

Построено решение, представляющее структуру спонтанно излучающей ударной волны, и исследована её устойчивость в линейном приближении. Найдены линейные волны возмущений, которые могут распространяться по структуре, и волны, излучающиеся в область течения за структурой, т.е. волны, соответствующие спонтанному излучению возмущений ударной волной, рассматриваемой как поверхность разрыва.

См. также **19.05-01.70, 19.05-01.214**

Звук в трубах с потоками

19.05-01.227 Сравнение акустических характеристик различных методов генерации синтетической турбулентности на примере моделирования развитого турбулентного течения в плоском канале RANS/ILES методом. *Жигалкин А.С., Любимов Д.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 276-277. Рус.

Рассмотрены несколько методов с точки зрения создания ими источников ложного шума: метод на основе генерации «белого» шума, изложенный в работе *T. Lund, X. Wu, and D. Squires* Generation of turbulent inflow data for spatially-developing boundary layer simulations // *Journal of Computational Physics*. 1998. N. 140. Pp. 233-258, спектральные методы, изложенные в работах *L. Davidson* Using isotropic synthetic fluctuations as inlet boundary conditions for unsteady simulations // *Advances and Applications in Fluid Mechanics*. 2007. N. 1. Pp. 1-35, *A. Smirnov, S. Shi, LB. Celik* Random flow generation technique for large-eddy simulations and particle-dynamics modeling // *Journal of Fluids Engineering*. 2001. N. 123. Pp. 359-371 и оригинальный вариант метода синтетических вихрей, изложенного в работе *N. Jarrin, S. Benhamadouche, D. Laurence, R. Prosser* A synthetic-eddy-method for generating inflow conditions for large-eddy simulations // *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2006. V. 27. Pp. 585-593. Перечисленные методы были встроены вышеупомянутый RANS/ILES метод с невязной SGS-моделью. На примере моделирования развитого турбулентного течения в плоском канале было произведено сравнение этих методов по величине создаваемого ими ложного шума. Были получены спектры пульсаций давления, поля акустического давления и распределения среднеквадратических величин пульсаций давления по длине и высоте канала.

19.05-01.228 Валидация численного моделирования работы генератора вращающихся акустических мод. *Корин И.А., Пальчиковский В.В., Берсенев Ю.В. Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации.* 2018, № 1, с. 166-170. Рус.

Проведены измерения шума в канале установки генерации вращающихся акустических мод. Выполнено численное моделирование генерации мод с различными номерами и их распространения в канале с жесткими стенками. Результаты расчетов сопоставлены с результатами экспериментов. Рассмотрено влияние на точность численного моделирования: отличий ряда геометрических характеристик реальной установки от проектных значений; точности позиционирования микрофонов; вариантов граничных условий, учитывающих эффекты потери акустиче-

ской энергии за счет поглощения динамиками и излучения в открытое пространство из канала установки.

19.05-01.229 О применении в аэроакустических исследованиях сопел, изготовленных по аддитивной технологии. *Черенкова Е.С., Храмцов И.В., Кустов О.Ю.* *Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации.* 2018, № 1, с. 337-341. Рус.

Спроектированы и изготовлены конические сопла с выходной частью диаметром 30, 40 и 50 мм, созданные по аддитивной технологии методом экструдирования нити из ABS-пластика. В акустической заглушенной камере проведены измерения шума одноконтурной холодной воздушной струи для всех сопел при скоростях струи в диапазоне 0,3–0,7 чисел Маха. Полученные спектральные плотности и суммарные уровни звукового давления показывают, что сопла, созданные по аддитивной технологии, могут успешно применяться в аэроакустических исследованиях, заменяя более дорогие в изготовлении сопла из металла.

19.05-01.230 Неравновесная колебательная и химическая кинетика в потоках воздуха в соплах. *Нагнибеда Е.А., Папина К.В.* *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1: Математика. Механика. Астрономия.* 2018, 5, № 2, с. 287-299. Рус.

Численно исследуются неравновесные течения пятикомпонентного воздуха $N_2/O_2/NO/N/O$ в соплах на основе поуровневого описания. Учитываются химические реакции обмена атомами, диссоциация, рекомбинация и переходы колебательной энергии молекул. Показано формирование неравновесных невольтмановских распределений с образованием платообразного участка на средних уровнях. Изучено влияние моделей реакций обмена, условий в критическом сечении и формы профиля на колебательные распределения и макропараметры течения. Проведено сравнение с результатами, полученными в однопотемпературном приближении.

19.05-01.231 Построение потока KdV . I. τ -функция через функцию Вейля. Construction of KdV flow. I. τ -Function via Weyl function. *Kotani S.* *Журнал математической физики, анализа, геометрии.* 2018, 14, № 3, с. 297-335. Англ.

Sato introduced the τ -function to describe solutions to a wide class of completely integrable differential equations. Later Segal–Wilson represented it in terms of the relevant integral operators on Hardy space of the unit disc. This paper gives another representation of the τ -functions by the Weyl functions for 1d Schrödinger operators with real valued potentials, which will make it possible to extend the class of initial data for the KdV equation to more general one.

19.05-01.232 Обзор материалов исследования аэроакустических параметров в дозвуковых аэродинамических трубах. *Цветков А.И., Ефремов А.В.* 2019, 5, № 2, с. 20-38. Рус.

Представлен обзор экспериментальных исследований параметров пульсаций воздушного потока в дозвуковых аэродинамических трубах замкнутого типа, в моделях этих труб и в аэродинамических трубах малых размеров. Анализу подвергались результаты исследований пульсаций давления и скорости инфразвуковой и низкой частоты. При этом рассматривалось также влияние элементов конструкций внутреннего канала аэродинамических труб на акустические параметры потока. Анализ существующих конструкций и схем промышленных дозвуковых аэродинамических труб, мер по снижению инфразвуковых и низкочастотных пульсаций потока позволяет успешно модернизировать и создавать отвечающую перспективным требованиям научно-экспериментальную базу проектируемых и модернизируемых аэродинамических труб и обеспечить проведение исследований в интересах создания высокоэффективной и конкурентоспособной продукции.

19.05-01.233 Трехмерные течения во вращающемся цилиндре при наличии турбулентных пограничных слоев на торцевых дисках. *Борисевич В.Д., Потанин Е.П.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 4, с. 19-26. Рус.

Представлена аналитическая модель расчета гидродинамических характеристик потока вязкой несжимаемой жидкости во вращающемся цилиндре при наличии тормозящей крышки в случае образования на торцевых поверхностях турбулентных пограничных слоев. Анализ выполнен с учетом всех нелинейных инерционных членов в уравнениях движения в рамках интегральных соотношений Лойцянского. Приближенные профили скоростей в пограничных слоях задаются в соответствии с эмпирическим $1/7$ -законом. Основной поток разделяется на невязкое квазитвердое ядро и боковой слой, в котором сосредоточена практически вся восходящая часть циркуляционного потока. Неизвестные величины угловой скорости ядра и его границы по радиусу оцениваются из баланса моментов сил трения, действующих на основной вращающийся поток, и условия неразрывности циркуляционного течения.

19.05-01.234 Ламинарное течение степенной жидкости в Т-образном канале при заданных перепадах давления. *Борзенко Е.И., Дьякова О.А., Шрагер Г.Р.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 4, с. 63-71. Рус.

Статья посвящена исследованию установившегося ламинарного течения несжимаемой степенной жидкости в плоском Т-образном канале при заданных перепадах давления между граничными сечениями втекания/вытекания. Степенной жидкостью называется неньютоновская жидкость, реологическое поведение которой описывается законом Оствальда–де Вилля. Математическая постановка задачи включает уравнения движения и неразрывности. На твердых стенках задается условие прилипания. Для нахождения решения задачи используется конечно-разностный метод с применением процедуры SIMPLE. Проведены параметрические исследования кинематических и динамических характеристик течения в зависимости от основных параметров задачи. Построена диаграмма режимов течения при изменении значений перепадов давления, задаваемых между границами втекания/вытекания канала, для различных показателей нелинейности реологической модели.

19.05-01.235 Отражение потока разреженного газа от стенки с отверстием и истечение газа в вакуум. *Титарев В.А., Фролова А.А., Шапов Е.М.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 4, с. 111-118. Рус.

На основе кинетической S-модели решается двумерная нестационарная задача об отражении равномерного сверхзвукового потока разреженного газа, падающего нормально на стенку с отверстием и истечение газа через отверстие (щель и канал) в вакуум. Изучается влияние щели на характер отражения, на скорость отраженной ударной волны от стенки и на формирование струи газа, истекающего в вакуум, в зависимости от скорости падающего потока, степени разреженности газа и от условий на стенке. Исследуется также влияние толщины стенки, то есть длины канала, через который происходит истечение. В качестве основной интегральной характеристики рассчитывается расход газа через отверстие. Прослеживается выход процесса истечения на стационарный режим отражения. Кинетическое уравнение решается численно консервативным методом конечных разностей второго порядка аппроксимации по всем переменным.

19.05-01.236 Течение в узком канале химическими реакциями на стенке. *Лунев В.В., Тихомиров П.С.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 4, с. 119-122. Рус.

Получено решение задачи о течении газа в узком канале, плоском и цилиндрическом с внутренним стержнем на оси, с химическими реакциями на стенках. Задача сводится к решению обыкновенного дифференциального уравнения для поперечного распределения параметров потока. Этот пример моделирует, в некоторой степени, течения в химических реакторах, применяемых иногда для исследования гетерогенных химических реакций.

19.05-01.237 О возможности реламинаризации в зоне РТ-перемешивания под действием ускоренного сдвигового течения. *Мешков Е.Е., Мокрецов Р.В., Смагин И.Р.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 5, с. 3-5. Рус.

Разработана методика экспериментального исследования влияния ускоренного сдвигового течения на развитие неустойчивости Рэлея—Тейлора (РТ) на границе двух жидкостей с малым числом Атвуда. С применением аналога метода лазерного ножа (флюоресценция под действием лазерного излучения) получены данные о структуре зоны РТ перемешивания и подтверждение стабилизации неустойчивости под действием ускоренного сдвигового течения.

19.05-01.238 Экспериментальное исследование распада и размывания перерасширенной треугольной сверхзвуковой струи. *Сурешкумар А., Сриджар Б.Т.Н. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 5, с. 40–51. Рус.

Выполнены эксперименты с перерасширенными треугольными равносторонними сверхзвуковыми струями при числе Маха 1.8 и числе Рейнольдса $6.71 \cdot 10^5$ и $4.81 \cdot 10^5$. Цель работы состояла в исследовании характеристик размывания и распада струи путем измерения полного давления вдоль ее центральной линии и в поперечном направлении. Ударно-волновая структура струи изучена на основе цилинро-изображений. Вышеприведенные числа Рейнольдса соответствуют полным давлениям на входе сопла 550 кПа ($6.71 \cdot 10^5$) и 360 кПа ($4.81 \cdot 10^5$). Для сравнения аналогичные эксперименты выполнены для случая кругового сопла при тех же значениях площади выходного сечения и отношения площадей (1.44) и при тех же полных давлениях. Экспериментальные данные показывают, что треугольная струя имеет меньшую, чем круговая, длину сверхзвукового ядра, причем уменьшение составляет 34.25% при 360 кПа и 31.11% при 550 кПа. Падение полного давления в треугольной струе происходит резче и ближе к выходному сечению, чем для круговой струи. Поперечные распределения полного давления показывают, что степень размывания треугольной струи меньше в окрестности ее углов, чем в центральных частях сторон треугольника.

19.05-01.239 Характеристики течения в сверхзвуковой открытой полости. *Ванг Дж.М., Ванг Х., Ма Й., Минг К.Джэ., У Джэ.К. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 5, с. 135–149. Рус.

Течение в открытой полости подвержено интенсивным самоподдерживающимся осцилляциям. Это нестационарное течение, характеризующееся множественными тонами, порождает мощные пульсации давления. В работе течение в полости при числе Маха набегающего потока 1.19 моделируется при помощи метода отсоединенных вихрей. Для лучшего понимания процессов переноса сдвигового слоя и частотных характеристик поле скорости потока на середине ширины полости изучено посредством разложения по динамическим модам (DMD). Выделены три первые моды сверхзвукового течения в полости и при их помощи описана конфигурация течения на доминирующих частотах; этим DMD-модам соответствуют течения с двумя, тремя и четырьмя вихрями. Предложены упрощенные модовые структуры, позволяющие определить динамику течения в сверхзвуковой полости. Когда волна сжатия, являющаяся частью петли обратной связи, сталкивается с волной вытеснения в определенном месте, возникает явление, аналогичное звуковому удару, производящее очень сильный шум в полости.

19.05-01.240 Синхронизация в турбулентном сферическом течении Куэтта под действием неравномерного вращения. *Жиленко Д.Ю., Кривоногова О.Э. Журнал технической физики.* 2019, 89, N 7, с. 992–997. Рус.

Представлены результаты численного исследования свойств турбулентных течений вязкой несжимаемой жидкости во вращающемся сферическом слое при наличии синхронизации. Синхронизация турбулентного течения происходит под действием периодического изменения скорости вращения внутренней сферы, скорость вращения внешней сферы постоянна. Проведено сравнение с экспериментом, и определен диапазон амплитуд модуляции, при котором синхронизация сопровождается перемежаемостью типа "хаос_хаос".

19.05-01.241 Об инкрементах неустойчивости волн различной симметрии на движущейся относительно материальной среды объемно заряженной струе. *Григорьев А.И., Ширяева С.О., Михеев Г.Е. Журнал тех-*

нической физики. 2019, 89, N 8, с. 1176–1182. Рус.

Исследованы инкременты неустойчивости капиллярных волн с произвольной симметрией (с произвольными азимутальными числами m)

См. также **19.05-01.52**

Авиационная акустика

19.05-01.242 Ультразвуковая система обнаружения препятствий для беспилотных летательных аппаратов мультиторного типа. *Кудрявцев А.Н., Мурич М.А., Раков А.С., Раков Д.С. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы II Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VIII Всероссийских Армавирских чтений, Муром, 26–28 июня 2018 г.* Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018, с. 656–662. Рус.

Рассмотрен процесс построения системы обнаружения препятствий в ближней зоне на основе использования системы ультразвуковых дальномеров. Приведены краткие сведения о физике процесса измерения расстояний с помощью ультразвуковых волн.

19.05-01.243 Формирование облака двигателей магистральных пассажирских самолетов 2030-х гг. *Ланшин А.И., Луковников А.В., Полев А.С. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 6–7. Рус.

Для существенного увеличения доли отечественной авиационной техники на мировом рынке, которое предусматривает Государственная программа РФ развитие авиационной промышленности на 2013–2025 гг., необходимо решение актуальных задач по увеличению надежности и ресурса существующих двигателей, обеспечению импортозамещения и созданию модельного ряда перспективных двигателей для магистральных пассажирских самолетов в широком диапазоне взлетной тяги/мощности. Разработка новых конкурентоспособных двигателей — затратный и продолжительный процесс. Как показывает практика, срок разработки новых технологий в авиадвигателестроении занимает 10–16 лет, а их освоение для применения в летательных аппаратах (ЛА) — еще 10–15 лет. В ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» (ЦИАМ) проводятся исследования по формированию научно-технического задела (НТЗ) для разработки двигателей магистральных самолетов гражданской авиации (ГА) 2030-х гг. С целью определения основных направлений создания экспериментально обоснованного НТЗ по прорывным конструктивно-технологическим решениям и новым критическим технологиям в обеспечении разработки конкурентоспособных силовых установок (СУ) для перспективных магистральных и региональных самолетов ГА выполнены анализ состояния и прогноз развития ЛА и рынка авиационных двигателей на период до 2030-х гг. и далее. Выполнены оценка современного состояния и анализ тенденций развития двигателей для самолетов ГА с прогнозом параметров, конструктивных схем, технико-экономических показателей двигателей. Сформированы требования к показателям перспективных отечественных двигателей и их узлов, к номенклатуре и свойствам перспективных материалов, а также приоритетные направления работ по созданию НТЗ и оценке ожидаемой эффективности реализации новых технологий при разработке перспективных двигателей. В перспективе следует ожидать в области двигателей для магистральных самолетов ГА достижения ресурсов основных деталей «гор»/«хол» частей в 30/60 тысяч полетных циклов (цикл — примерно 2 часа) и снижение крейсерского удельного расхода топлива на 20–30% по отношению к двигателям 2000 г. при существенном улучшении экологических показателей. При сохранении магистрального направления на разумное (с учетом проблем обеспечения все возрастающих требований к ресурсам конструкций и эмиссии вредных веществ) повышение

параметров цикла и степени двухконтурности прогнозируется все большее внимание к исследованиям СУ неградиционных конструктивно-компоновочных схем, глубоко интегрированных с элементами планера, включая гибридные СУ, где привод вентиляторов осуществляется одновременно от турбин и электродвигателей. Переход к таким компоновкам может потенциально обеспечить существенное улучшение технико-экономических характеристик ЛА.

19.05-01.244 Развитие воздушного транспорта России. Страдомский О.Ю., Самойлов И.А., Лесничий И.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 8-9. Рус.

Рынок авиаперевозок адаптировался к изменившимся в 2015–2016 годах экономическим условиям, а сформировавшиеся положительные тенденции в экономике страны обусловили восстановление спроса на пассажирские авиаперевозки по итогам 2017 года в объеме, на 7% превышающем показатели предкризисного 2014 года. В 2018–2019 годах темп роста пассажирооборота составил около 10% в год, что сопоставимо с темпами, характерными для воздушного транспорта России в среднем после 2000 года, в том числе и на внутреннем рынке, где в 2018 году был превышен исторический максимум по пассажирообороту. Восстановление рынка авиаперевозок стимулирует процессы обновления и расширения парка воздушных судов, которые в значительной мере были приостановлены в 2015–2016 годах. Произшедшее в эти годы сокращение численности пассажирского парка авиакомпаний сегодня уже преодолено. В 2017–2018 гг. в парк поступало более 130 самолетов в год, что означает восстановление существовавшего ранее среднего темпа поставок — около 120 самолетов в год (после его сокращения вдвое в 2015 году). В 2019 году обновление парка продолжилось. Гражданская авиация России обеспечивает удовлетворение спроса на авиаперевозки при повышающемся качестве авиатранспортного обслуживания, в том числе благодаря обновлению эксплуатируемого парка самолетов. Сегодня он не уступает среднемировым показателям по уровню экологического совершенства. Средний удельный расход топлива при выполнении коммерческих воздушных перевозок в 2018 году снизился на 1,3% (в 2017 году — на 3%) и составил 0,263 кг/ткм. Темпы снижения удельного расхода топлива в последние годы замедлились, поскольку основу российского парка самолетов уже преимущественно составляют самолеты с высокой топливной эффективностью. В первую очередь, это касается сегмента международных перевозок, где устаревшая техника практически не применяется, поэтому удельный расход топлива на этом сегменте рынка в 2018 году сохранился на уровне 2017 года — 0,24 кг/ткм. Однако выход на рынок ряда новых зарубежных типов самолетов (A-320neo, A-220 и др.) и ожидаемое завершение работ по новому российскому семейству самолетов MC-21, топливная эффективность которых примерно на 15% выше, чем у заменяемых ими моделей, позволяет ожидать повышения топливной эффективности авиаперевозок российских авиакомпаний. Но пока это достигается за счет зарубежных самолетов, которые выполняют более 95% транспортной работы российских авиакомпаний. Поэтому приоритетом отечественной гражданской авиации является завершение создания семейства MC-21 и в дальнейшем — предложение новых конкурентоспособных российских самолетов, в первую очередь, региональных. Сохранение положительных тенденций в экономике приведет к увеличению объемов перевозок российских авиакомпаний в 2,5–3,0 раза за 20 лет, что потребует соответствующего развития парка самолетов, которое будет происходить на фоне дальнейшего ужесточения экологических стандартов и расширения перечня нормируемых параметров, как это произошло в 2010-е годы в отношении уровня шума, эмиссии нЛТЧ и CO₂. ИКАО продолжает реализацию политики, направленной на снижение неблагоприятного воздействия гражданской авиации на окружающую среду. Ужесточение стандартов Приложения 16 ИКАО, в основном, укладывается в существующие тенденции и соответствует потенциальным возможностям отечественных производителей по снижению шума, эмиссии загрязняющих веществ и парниковых газов в источнике. Тем не

менее, это влияет на гражданскую авиацию России в части организации производства, модификации и создания авиатехники, а также развития парка воздушных судов. Это выражается не только в повышенных требованиях к новой авиатехнике, но и в необходимости модернизации выпускаемой авиационной техники как для обеспечения продолжения ее производства в долговременной перспективе, так и для повышения конкурентоспособности в части снижения выбросов CO₂, уровня шума и эмиссии NO_x, нЛТЧ.

19.05-01.245 Поддержание конкурентоспособности современного отечественного самолёта в эксплуатации за горизонтом 2025 с учётом вновь вводимых требований авиационных властей по шуму и импортозамещению. Долотовский А.В., Шевяков В.И., Николаев Д.И., Войтишина М.С. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 10-11. Рус.

Уровень конкурентоспособности самолётов транспортной категории определяется не только безопасностью полёта, топливной экономичностью, комфортом пассажиров и экипажа, но и экологичностью, в частности, уровнем шума на местности. Постоянное ужесточение сертификационных требований к самолётам транспортной категории связано не только со стремлением повысить безопасность полётов, но и с конкурентной борьбой производителей авиационной техники. Требования ИКАО к уровню шума на местности постоянно повышаются. За период с 1970 до 2020 г. требования ужесточены на 37 EPNdB. Градиент ужесточения требований при переходе от Главы 4 к Главе 14 возрос по сравнению с переходом от Главы 3 к Главе 4. Проанализированы основные направления исследований, позволяющих обеспечить соответствие новым требованиям ИКАО по шуму. Наиболее общее и традиционное из них — повышение аэродинамического качества на взлёте, что позволяет снизить потребную тягу в точке замера шума или увеличить градиент набора высоты и соответственно высоту полёта в этой точке. В настоящее время для повышения аэродинамического качества отечественных самолётов используются инновационные подходы, требующие расчётно-экспериментальных исследований: проектирование специальных законцовок крыла с учётом эффектов аэроупругости, разработка адаптивной механизации крыла, применение композитных конструкций крыла с большими изменениями формы в полёте. Особое значение приобретают работы по аэроакустике планера. Работы проводятся в двух направлениях: оптимизация углов отклонения механизации крыла с учётом взаимодействия со струей маршевого двигателя, а также нахождение локальных источников шума в элементах конструкции планера и минимизация их интенсивности. Расчётно-экспериментальные работы проводятся как для самолёта CR-929, так и для вариантов развития семейства самолётов SSJ. Направление, особо важное в последнее время — импортозамещение. Ремоторизация — использование отечественных маршевых двигателей с отечественными мотогондолами — ставит задачу оптимизации ЗПК, внешних обводов мотогондолы, зоны крыла в районе мотогондолы. Рассматривается возможность использования двигателей ПД-8, ПД-35.

19.05-01.246 Предварительные лётные испытания и оценка характеристик шума самолёта на местности в целях подготовки к сертификации согласно требованиям стандартов CS-36 и Приложения 16 ИКАО. Наквасин А.Ю. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 12-13. Рус.

Рассматриваются основные вопросы подготовки, проведения и анализа результатов предварительных ЛИ опытного самолёта по оценке характеристик Шума на местности с использованием материалов работы, выполненной АО «ЛИИ им. М.М. Громова» в 2018 г. Особенностью предварительных испытаний является ограниченный объём выполняемых полётов (в рассматриваемой работе он составил 35% от обычной сертификационной программы ЛИ по шуму). В связи с этим методика ана-

лиза результатов предварительных испытаний имеет отличия от используемой в сертификации — применяются расширенные границы допусков по основным параметрам оценки зачётности испытательных режимов. Это необходимо для уменьшения количества исключаемых режимов и обеспечения достаточности объёма выборки статистических данных, используемых в регрессионном анализе результатов. В сертификационной практике из-за жёстких требований стандартов ИКАО к выдерживанию параметров пилотирования ВС и условиям внешней среды объём исключаемых из анализа режимов может достигать 50%, в данной работе из анализа исключено менее 10% испытательных режимов. Несмотря на небольшой объём экспериментальных данных и расширенные границы допусков по результатам предварительных испытаний были получены оценки уровня шума для трёх контрольных точек (шум под траекторией взлёта, боковой шум при взлёте, посадочный шум под траекторией) с 90%-ми доверительными интервалами в пределах от $\pm 0.17 \text{ EP}_{\text{дБ}}$ до $\pm 1.1 \text{ EP}_{\text{дБ}}$, что подтверждает достоверность этих оценок, учитывая, что стандарты CS-36 и Приложения 16 ИКАО ограничивают максимальное значение доверительных интервалов на уровне $\pm 1.5 \text{ EP}_{\text{дБ}}$. В ходе работы была проведена оценка влияния конфигурации механизации крыла на уровень шума параметров исходных траекторий испытательных режимов для сертификационных лётных испытаний. Результаты предварительных испытаний в настоящее время используются для оценки готовности опытного самолёта к проведению сертификационных испытаний по шуму на местности в соответствии с требованиями стандартов CS-36 и Приложения 16 ИКАО (Том 1 «Авиационный шум»).

19.05-01.247 Сверхзвуковой транспорт: новые возможности и пути развития. *Сыпало К.И. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 14. Рус.

В настоящее время остро стоит необходимость кардинального сокращения времени деловых авиаперелетов. Дозвуковые бизнесджеты позволяют совершать однодневные поездки, но на расстояние до 3500 км. использование «сверхзвука» увеличивает дальность до 7–8 тыс. км. Наиболее перспективным и реальным направлением реализации созданного научно-технического задела по сверхзвуковым пассажирским самолетам (СПС) видится создание сверхзвукового делового самолета (СДС). Прежде всего, подобный самолет и его создание будут значительно дешевле по сравнению со сверхзвуковыми аэробусами. Да и решение технических проблем, связанных с жесткими экологическими требованиями, становится более реальным. Проект СДС должен обладать высоким мультипликативным эффектом для российской промышленности и науки, так как при реализации этого проекта будет создан целый комплекс перспективных базовых и критических авиационных технологий, таких как: аэродинамический облик СДС, обеспечивающий высокую топливную эффективность при минимизации уровня звукового удара и шума на местности; технология создания высокоэкономичного высотного двигателя для СДС с пониженной степенью двухконтурности, акустически эффективным воздухозаборником и сопловым аппаратом; перспективные конструктивно-силовые схемы и материалы; технологии синтезированной реальности и 4D навигации и т.п. В результате исследовательских работ в ЦАГИ разработано техническое предложение на летный демонстратор СДС с низким уровнем громкости звукового удара $L \sim 65 \text{ дВА}$. Достигнутый низкий уровень звукового удара, соответствующий предполагаемым нормам ИСАО, обеспечен в результате применения мультидисциплинарного проектирования и оптимизации на основе высокоэффективных методов математического моделирования и многочисленных испытаний в аэродинамических трубах.

19.05-01.248 Акустические характеристики двигательных установок. *Иноземцев А.А., Алексенцев А.А., Синер А.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 15-16. Рус.

АО «ОДК-Авиадвигатель» является разработчиком двигательных установок авиационного и наземного применения. Основным двигателем для отечественных гражданских средне- и дальнемагистральных самолетов на сегодняшний день является разработанный и изготавливаемый в Перми двигатель ПС-90А и его модификации. В 2018 году получен сертификат типа на новый российский авиационный двигатель ПД-14. Создание новых перспективных двигателей для гражданской авиации является приоритетной программой Объединенной двигателестроительной корпорации (АО «ОДК») с государственным финансированием и строгим контролем. Двигатели создаются при широкой кооперации российских авиационных предприятий с головным разработчиком АО «ОДК-Авиадвигатель». Рассматриваются основные акустические характеристики двигательных установок и их влияние на шум самолета на местности. Освещаются перспективы производства, эксплуатации, модернизации двигателей семейства ПС-90А, ПД-14 и состояние разработки двигателей нового поколения, находящейся на этапе НИОКР. Одним из приоритетов являются работы по экологии, определяющие конкурентоспособность гражданской авиационной продукции. Обладая полувековым опытом совершенствования акустических характеристик авиационных двигателей собственной разработки, АО «ОДК-Авиадвигатель» имеет необходимый задел, материальную базу и персонал для дальнейших работ по улучшению этих характеристик. Рассматриваются задачи, проблемы, мероприятия по акустике авиационных двигателей: снижение шума основных источников на основе трехмерных акустических расчетов элементов и узлов двигателя; совершенствование звукопоглощающих конструкций (ЗПК); проведение полноразмерных акустических испытаний двигателей на открытом стенде с разработкой, верификацией новых измерительных и расчетных методик. Самолеты с двигателями семейства ПС-90А удовлетворяют требованиям Главы 4 Стандарта ИКАО по шуму на местности. Перспективные российские двигатели должны обеспечить новым самолетам МС-21, SSJ-75/100, Ил-276, CRJ929 (и др.) возможность удовлетворять с запасом требованиям Главы 14 Стандарта ИКАО. По результатам стендовых испытаний ПД-14 прогнозируется соответствие по шуму на местности самолета МС-21 нормам Главы 14 с запасом 8 EP_{дБ} и, следовательно, техническому заданию.

19.05-01.249 Оценка влияния взаимного расположения лопастей на аэродинамические и акустические характеристики соосного несущего винта вертолета. *Крицкий Б.С., Миргазов Р.М. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 30-31. Рус.

К вертолету соосной схемы предъявляются требования об исключении соударения лопастей верхнего и нижнего винтов в процессе летной эксплуатации, уменьшения вибраций, обусловленных пульсациями тяги винтов, уменьшения шума, генерируемого, главным образом, соосным несущим винтом (НВ). Установлено, что начальный азимут лопасти, например, верхнего винта, не совпадающий с начальным азимутом лопасти нижнего винта, влияет на отмеченные выше особенности соосного вертолета. В данной работе выполнены численные исследования по оценке влияния начального азимута лопастей верхнего винта на пульсации силы тяги соосного НВ вертолета и его акустических характеристик. Исследования проводились в помощь метода расчета, основанного на нелинейной вихревой теории в нестационарной постановке.

19.05-01.250 Анализ акустических характеристик модельного несущего винта на различных режимах работы. *Пазов В.В., Михайлов С.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 32-33. Рус.

Представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных в аэродинамической трубе Т-1 К КНИТУ-КАИ (Казань), модифицированной для акустических исследований. Аэродинамическая труба АДТ Т-1 К — малых скоростей (до 50 м/с), замкнутого типа, с открытой рабочей частью диамет-

ром 2,25 м и длиной 3 м. Модификация аэродинамической трубы заключается в создании вокруг открытой рабочей части шумопоглощающей камеры. Целью исследований было получение аэроакустических характеристик модели несущего винта вертолета в ближнем акустическом поле. Такие данные могут быть использованы для валидации численных методов расчетов аэроакустических характеристик.

19.05-01.251 Возможность достижения перспективными СПС норм по шуму на местности на основе оценки допустимой скорости струи СПС. *Беляев И.В., Копьев В.Ф., Самохин В.Ф., Фараносов Г.А., Замт-форт Б.С. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 34–36. Рус.

Цель работы состояла в исследовании возможности удовлетворения действующим и перспективным нормам по шуму на местности для различных концепций сверхзвукового пассажирского самолета (СПС), рассматривая шум струи в качестве доминирующего источника и предполагая, что другие источники шума существенно заглушены.

19.05-01.252 Двигатель для сверхзвукового пассажирского самолета следующего поколения. *Замт-форт Б.С., Беляев И.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 37–39. Рус.

Известно, что в двухступенчатом вентиляторе классической (или биротативной) схемы ту же степень повышения полного давления в вентиляторе (лв) можно получить с большим КПД (до 7%), чем в одноступенчатом, рассчитанном на те же параметры. Возврат к двухступенчатому вентилятору позволит повысить и его КПД и КПД двигателя, но приведет к увеличению числа деталей и масс вентилятора и двигателя, повысив заметно экономичность двигателя. Именно экономичность на крейсерском режиме будет определять дальность СДС/СПС для реализации беспосадочных межконтинентальных полетов. СДС/СПС нового поколения должен будет удовлетворять жестким экологическим требованиям по шуму на местности, уровням эмиссии NO_x и CO_2 , а также ограничениям по уровню звукового удара. В последнее время в литературе рассматриваются интегральные схемы компоновки силовой установки над обтекаемыми поверхностями планера, имеющие ряд существенных преимуществ, как по экранированию шума вентилятора фюзеляжем и крыльями, так и по снижению уровня его шума в нестандартно длинных воздухозаборном и наружном каналах вентилятора с ЗПК. Оценим с помощью постоянно обновляемого и расширяемого программного комплекса БАСТОН акустические характеристики двигателя СДС/СПС при замене одноступенчатого вентилятора на двухступенчатый.

19.05-01.253 Применение RANS/ILES метода для исследования течения и шума струи из сопла сверхзвукового делового самолета. *Бендерский Л.А., Любимов Д.А., Мамышев Д.Л., Польшняков Н.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 42–43. Рус.

Для исследования течения и шума в струе и модельного сопла сверхзвукового делового самолета (СДС) применен вихреразрешающий RANS/ILES метод. Описаны условия эксперимента. Анализ результатов показал, что течение в струе существенно турбулентное. Установлено, что потенциальное ядро струи разрушается на расстоянии одной высоты пилона от кромки нижней отражающей поверхности. Быстрое разрушение потенциального ядра вызвано наличием разнонаправленных шевронов и эжекторных каналов, интенсифицирующих смешение. Замечен переворот осей струи для двух режимов течения. Ранее было получено, что при наличии экрана переворот осей в струе из прямоугольного сопла пропадает. Получены параметры те-

чения в различных сечениях и параметры турбулентности в слоях смешения на продолжении кромок шевронов, эжекторных каналов и отражающих поверхностей. Проанализированы особенности спектральных и интегральных характеристик шума в ближнем поле струи.

19.05-01.254 Оценка эффективности шевронных сопел для снижения шума авиационных двигателей. *Крашенинников С.Ю., Миронов А.К., Алексенцев А.А., Берсенева Ю.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 46–48. Рус.

Шевронные сопла используются в гражданской авиации для снижения шума струи. Примерами технического решения являются самолеты Боинг-787, Боинг-747-8 и Боинг-737-макс, на которых установлены двигатели с шевронами на соплах наружного контура. Совместные работы ФГУП «ЦИАМ» и АО «ОДК-Авиадвигатель» по шевронным соплам проводятся на протяжении последних 14-ти лет. Акустические измерения проводились как в натурных условиях на стенде ОС-5 (Авиадвигатель), так и на моделях (Ц-17А4 ЦИАМ). Проточные части моделей были практически идентичны выхлопным соплам двигателей, в экспериментах воспроизводились натурные условия истечения (перепады давления по контурам и температуры потоков). В настоящей работе представлен анализ результатов исследований акустической эффективности шевронных сопел для двигателей со степенью двухконтурности $m=2.36$, $m=4.5$ и $m=8.5$. В заключение следует отметить, что анализ зарубежного опыта двигателестроения показывает, что проблемы с аномальным усилением высокочастотного шума при использовании шевронных сопел либо не возникают, либо они имеют адекватное решение. Примером является двигатель LEAP 1b на самолете Boeing-737-макс, шевронное сопло которого является аналогом сопла двигателя (АО «ОДК-Авиадвигатель») с $m=8.5$.

19.05-01.255 Исследование гармоник свистящих звуков в шумах форсированного выдоха человека. *Сафронова М.А., Ширяев А.Д., Коренбаум В.И. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 49–50. Рус.

Методы аэроакустики имеют широкое применение. Помимо решения задач в области самолетостроения, их можно также использовать для решения некоторых задач в медицинской акустике. Одна из таких задач — поиск достоверных акустических признаков нарушений бронхиальной проходимости, которая по сей день является весьма актуальной. Маневр форсированного выдоха (ФВ) сопровождается узкополосными свистящими звуками (СФВ). Они исследуются как потенциальные индикаторы obstructивных заболеваний легких, но до сих пор так и не ясны механизмы их формирования, а также локализация источников по уровням бронхиального дерева человека. Ранее, при анализе спектрограмм трахеальных шумов ФВ как больных, так и здоровых добровольцев, было замечено, что СФВ часто сопровождаются гармониками — «дорожками» спектральных пиков на частотах, примерно, кратных основной частоте СФВ. Цель работы — исследование гармоник СФВ, что вероятно, может служить одной из ступеней к пониманию механизмов формирования этих звуков. Выяснение вопроса, могут ли выявленные эффекты дать что-либо для уточнения механизмов формирования СФВ, требует дальнейшего изучения.

19.05-01.256 Некоторые теневые фотографии турбулентных струй при аэроакустических взаимодействиях. *Пимштейн В.Г. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 51–54. Рус.

В Акустическом отделении ЦАГИ на протяжении нескольких лет проводятся исследования процессов аэроакустических взаимодействий, результаты которых изложены в альбоме «Аэро-

акустические взаимодействия в турбулентных струях» (Физматлит, М., 2010), в котором подробно описаны методы получения фотографий, схемы опытов, параметры струй и излучателей звука. Приведены некоторые теневые фотографии, полученные в последних исследованиях и некоторые улучшенные снимки из альбома. Их разглядывание, на наш взгляд, может оказаться полезным для понимания процессов, протекающих в турбулентных струях.

19.05-01.257 Локализация и ранжирование источников шума современного пассажирского самолета в натурном летном эксперименте. *Копьев В.Ф., Зайцев М.Ю., Величко С.А., Матвеев В.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 59–60. Рус.

Настоящая работа проводилась специалистами отделения аэроакустики ФГУП "ЦАГИ" в интересах ПАО «Корпорация «Иркут» в рамках предварительных сертификационных летных испытаний (ЛИ) по определению характеристик воспринимаемого шума на местности самолета МС-21-300. Работа выполнялась в комплексе с единой программой, разработанной совместно специалистами ПАО "Корпорация "Иркут АО «ЛИИ им. М.М. Громова» и ФГУП ЦАГИ в соответствии с рекомендациями стандарта ИКАО (документ Doc.9501). Актуальность исследования вызвана необходимостью завершения сертификации характеристик шума на местности в Российской Федерации и тем, что уже на 2020 г. запланирована сертификация EASA (Европейское агентство по безопасности полетов) самолета МС-21-300 с двигателями PW1400G-JM в EASA. Результаты сертификационных испытаний могут во многом определить конкурентоспособность и возможность продвижения на международные рынки нового отечественного самолета — прямого конкурента среднемагистральным самолетам фирм Боинг и Эрбас. С учетом введения ИКАО с 31 дек. 2017 г. новых норм по шуму на местности, ужесточенных на 7 EPNdB по сравнению с предыдущими требованиями, задача акустической диагностики и «настройки» натурального самолета в летном эксперименте, то есть достижение соответствия вновь введенным требованиям, приобретает первостепенное значение. Целью настоящей работы являлось проведение акустических измерений с использованием 108-микрофонной антенны фирмы Brüel&Kjær в ходе летных испытаний по шуму на местности самолета МС-21-300 с двигателями PW1400G-JM и отработка методологии ранжирования и локализации источников шума в натурном летном эксперименте. В результате проведенных летных испытаний впервые в практике отечественного самолетостроения на опытном самолете МС-21-300 № 001 с двигателями PW1400G-JM проведена отработка методологии локализации и ранжирования прелетного шума натурального самолета. Для получения экспериментальных данных был использован имеющийся в ЦАГИ аппаратно-программный комплекс, состоящий из 108-микрофонной антенны диаметром 12 м, многоканальных блоков сбора акустической информации, системы GPS синхронизации, программного обеспечения сбора и пост-процессинга акустических данных фирмы Brüel&Kjær, Дания. Совместно с предварительными сертификационными летными испытаниями на режиме захода самолета на посадку были выполнены акустические измерения при различных высотах пролета над центром антенны (100–180 м), углах тангажа (0,6–4,8°), режимах работы двигателя (обороты ротора низкого давления в диапазоне $3822 < N_{\text{пр1}} < 6083$), положения механизации крыла ("FULL" и "FLAPS3"). Кроме известных источников шума на опытном самолете обнаружен дополнительный источник шума, а именно хвостовая пята, устанавливаемая по соображениям безопасности, шум обтекания которой превышает шум двигателя в нескольких полосах частот. Важно отметить, что наличие такого элемента может повлиять на уровни шума в сертификационной точке N, которые были измерены специалистами ЛИИ им. М.М. Громова в ходе предварительных сертификационных испытаний. Таким образом, созданная в настоящей работе новая методология проведения летных испытаний позволяет не только создать акустический «портрет» исследуемого самолета, но и обеспечить при необходимости доводку самолетов семейства МС-21 с двигателями PW и ПД-14 (и в перспективе

SSJ-100) до требуемого уровня Стандартов ИКАО по уровням шума в контрольных точках на местности.

19.05-01.258 О взаимной связи модальных составов ближнего поля изолированной струи и дальнего поля системы струя-крыло. *Беляев И.В., Бычков О.П., Фараносов Г.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 61. Рус.

Данная работа продолжает исследования работы *G.A. Faranosov, I.V. Belyaev, V.F. Kopyev, O.P. Bychkov* Azimuthal Structure of Low-Frequency Noise of Installed Jet. AIAA Journal, 2019, V. 57, N. 5, Pp. 1885-1898, в которой было дано качественное объяснение наблюдаемым особенностям в изменении азимутального состава шума изолированной струи при установке вблизи нее моделирующей крыло пластины. На настоящий момент анализ разработанной ранее модели шума взаимодействия струи и крыла и соответствующих экспериментальных данных, полученных в АК-2 ЦАГИ, позволил провести теоретическое описание связи азимутальных компонент ближнего гидродинамического поля струи и дальнего акустического поля конфигурации струя—пластина. Полученные результаты позволили не только провести более глубокую валидацию аналитической модели, но и предложить упрощенный метод сбора необходимой для модели входной информации, что может быть полезным, например, при наличии спутного потока.

19.05-01.259 О влиянии положения маршевых двигателей на аэродинамические характеристики и параметры потока вблизи магистрального самолета на начальном этапе взлета. *Курилов В.Б., Сахарова А.И., Скоморозов С.И. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 71. Рус.

Согласно отечественным прогнозам, снижение шума реактивных самолетов должно составить к 2025–2030 гг. около 25–30 EPNdB относительно стандарта Главы 4 ИКАО. Уровень технологий снижения шума двигателя и планера пока позволяет решать эту проблему в рамках самолетов обычной схемы. Однако, для выполнения перспективных требований необходимы более авангардные технические решения. Одним из таких решений, является экранирование шума двигателей крылом путем переноса ТРДД на верхнюю поверхность крыла. Однако, перенос двигателей на верхнюю поверхность, то есть в область больших скоростей обтекания, может заметно ухудшить характеристики, как планера, так и самого двигателя. Известным приемом восстановления аэродинамических характеристик является смещение двигателей по направлению к задней кромке крыла. Исследования таких компоновок проводятся в ЦАГИ применительно к пассажирским самолетам различного класса. В работе приведены результаты расчетных исследований по влиянию положения двигателей относительно верхней поверхности крыла на аэродинамические характеристики и поле давлений вблизи магистрального самолета на начальных этапах взлета. Дано сравнение с аналогичными данными для классической компоновки с двигателями под крылом. Показаны зоны наиболее рационального расположения гондол.

19.05-01.260 Оценка воздействия законцовок на крыле на уровни шума самолета на местности. *Дмитриев В.Г., Самохин В.Ф. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 72–73. Рус.

Представлены результаты экспериментального исследования влияния аэродинамических законцовок на крыле на уровни шума самолета на местности на режимах взлета и захода на посадку.

19.05-01.261 Использование основных направлений в снижении шума самолета при создании отечественного ШФДМС. *Замтфорт Б.С. Тезисы докладов Ше-*

стой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 76. Рус.

Результаты предварительных исследований показали, что для снижения уровня шума и удельного расхода топлива самолета целесообразно переходить на инновационную двухпалубную конструкцию фюзеляжа с двумя трехвальными ТРДД и компоновкой входов в воздухозаборные каналы двигателей над крылом. Суммарная величина снижения уровня шума будет на 28 ЕРНдБ ниже, чем уровни шума, регламентируемые 4 Главой стандарта ИКАО. В основе программы работ, намеченной NASA на период до 2035 г., использованы как некоторые подробно исследованные технологии (различные типы ЗПК в двигателе), так и другие, такие как сдвоенный обтекатель Крюгера и обтекатель шасси, появившиеся в последние годы. Эти новые устройства, необходимые для снижения составляющих шума планера, будут исследоваться на физических моделях для количественной оценки величин снижения шума. Оценка уровня шума окончательного варианта самолета показывает, что потенциально уровень его шума может быть снижен до уровня на 42 ЕРНдБ ниже, чем уровни шума, установленные 4 Главой стандарта ИКАО за счет использования двух групп технологий. К первой группе относятся эффекты экранирования, дифракции и отражения, звука, что дает 4.7 ЕРНдБ, а также применение ЗПК с несколькими степенями свободы — 2.4 ЕРНдБ и четырехколесного шасси с обтекателем — 2.2 ЕРНдБ. Вторая группа мероприятий также может обеспечить заметное снижение уровня шума: а) облицовка ЗПК лопаток статора — 1.0 ЕРНдБ, центрального тела за турбиной — 0.8 ЕРНдБ и корпуса вентилятора над ротором — 1.6 ЕРНдБ; б) сдвоенный обтекатель Крюгера — 0.6 ЕРНдБ; в) непрерывная форма закрылка — 0.6 ЕРНдБ. На отработку этих двух групп технологий и будут направлены усилия при создании самолета с гондолой, интегрированной в конструкцию фюзеляжа. В работе отмечается, что после внедрения всех мероприятий уровни шума самолета в трех сертификационных точках будут определяться уровнями шума, генерируемого вентилятором. Для дальнейшего снижения шума самолета необходимо уменьшать шум вентилятора излучаемый назад.

19.05-01.262 Экспериментальное исследование модального состава шума вентилятора авиационного двигателя. *Городкова Н.А., Берсенева Ю.В., Синер А.А., Старцева М.П., Бурдаков Р.В., Вискова Т.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 93-94. Рус.

Снижение шума самолета составляет одну из основных задач авиационной акустики. Очевидно, основным источником шума двигателя является вентилятор, модальный состав звукового поля в канале воздухозаборника (ВЗ) и канале наружного контура (КНК) является наиболее значимым по отношению к другим источникам. В докладе для отработки модального анализа представлена математическая модель генерации звукового поля в КНК и ВЗ двигателя и результаты проведения измерений на полномасштабном ВЗ в заглушенной камере лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа (ЛМГШиМА) ПНИПУ. Математическая модель, разрабатываемая в данной работе, представляет собой расчет распространения звука в воздухозаборном канале авиационного двигателя с использованием уравнений Навье—Стокса и численных схем высокого порядка точности. Генерация мод производилась на нижней поверхности внутри канала с помощью задания нестационарного давления как комбинации мод. В эксперименте по окружности нижней части канала был установлен модельный генератор, состоящий из сорокатоочечного источника звука. Регистрация мод производилась в точках кольцевого массива и на полных сечениях внутри канала, расположенных на одном расстоянии от нижней поверхности. В эксперименте канал состоял из трех участков экспериментального воздухозаборника: участок ЗПК, корпус микрофонов и воздухозаборник авиационного двигателя. В участке микрофонов размещены линейный и кольцевой массивы микрофонов. Метод с регистрацией мод

на полных сечениях позволяет выявить все моды, генерируемые внутри канала, поскольку использует полную информацию в сечении, а точечные замеры имитируют реальные экспериментальные замеры. Регистрация сигналов звукового давления с микрофонов проводилась по всем каналам одновременно. Задавались одиночные моды от 0 до 41, а также их различные комбинации на частотах 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 3150 и 4000 Гц. В данной работе представлен расчет распространения звука в цилиндрическом воздухозаборном канале и результаты экспериментальных замеров в заглушенной камере ЛМГШиМА. Приведены результаты расчетов канала с разными комбинациями мод, а также представлено сравнение разложений на моды по точечным замерам и по полным сечениям внутри канала. Полученные в рамках описываемого исследования данные в дальнейшем планируется использовать для отработки извлечения модального состава шума с учетом радиальных составляющих, а также они могут быть использованы для верификации моделей распространения звука в воздухозаборнике авиационного двигателя.

19.05-01.263 Расчет основных составляющих шума вентилятора и их вклад в шум самолета на местности. *Замтфорт В.С. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 95-96. Рус.

Исследовано влияние новых подходов в проектировании РК вентиляторов, обусловленное режимом увеличением степени двухконтурности (m) двигателя с 5–6 до 10–12 для ТРДД и до 15–16 для редукторных ТРДД. Это повлекло за собой соответствующий рост диаметра вентилятора, длины его лопаток, ширины их хорды (широкохордные лопатки). С помощью постоянно обновляемого и расширяемого программного комплекса БАСТОН проведена сравнительная оценка акустических характеристик вентиляторов, спроектированных для ТРДД в большом диапазоне изменений степени двухконтурности (m) приблизительно от 4.5 до 15. Расчетное исследование проводилось для самолетов трех типов самолетов: ближне-среднемагистрального (БСМС), среднемагистрального (СМС) и дальнемагистрального (ДМС). Показано, что увеличение степени двухконтурности приводит к росту вклада шума вентилятора в общий шум двигателя и самолета на всех режимах полета. Рассматривая же вклад основных источников шума вентилятора — тонального шума на частоте лопаток и ее гармониках, шума ударных волн и широкополосного шума в шум двигателя и самолета, можно сделать следующие выводы: с увеличением степени двухконтурности снижается доля вкладов тонального шума на частоте следования лопаток и ее гармониках и шума ударных волн в суммарный шум вентилятора и растет вклад широкополосного шума; при степени двухконтурности 9 и более широкополосный шум становится определяющим, а при $m > 14$ он полностью доминирует в шуме вентилятора. Необходимо отметить, что на посадочном режиме значительный вклад в шум самолета на местности вносит шум, генерируемый планером, что не учитывалось при расчетах. Однако, как показано в работе NASA совместно с NEAT Consulting, на всех трех режимах взлетно-посадочного цикла доминирующим источником шума является вентилятор. Поэтому задача снижения его широкополосного шума является наиболее актуальной при создании глушителей шума.

19.05-01.264 Разработка акустической модели проточной части газотурбинного двигателя. *Колегов Р.Н., Мехоношин В.К., Синер А.А., Шуваев Н.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 127-128. Рус.

Нестационарное течение в проточной части газотурбинного двигателя (ГТД) может возбуждать различные резонансные процессы, поскольку в проточной части двигателя присутствуют различные полости и каналы с отражающими стенками. Возникающие резонансы могут приводить к существенным нагрузкам, действующим на детали двигателя, и приводить к поломкам двигателя. В связи с этим очень важным представляется

ся вопрос прогнозирования таких явлений на этапе проектирования двигателя, задолго до проведения испытаний. Это позволит существенно снизить затраты на доводку двигателя и избежать неожиданных поломок. Одной из наиболее подробных монографий по акустическим резонансам в компрессоре является диссертационная работа В. Helmich, в которой используются в основном экспериментальные методы исследования. Среди теоретических можно отметить работу S. König, в которой акустический резонанс рассматривается как причина поломки центробежной ступени компрессора. В работе создается специальная акустическая модель для расчета резонансов проточной части с учетом реалистичных условий течения в отдельных узлах газотурбинного двигателя. Модель состоит из двух частей: прогнозирование граничных условий, связанных с отражением волн от элементов ГТД, и собственно нестационарный расчет возникновения резонансов. Основными отражателями в проточной части являются вращающиеся лопаточные венцы компрессора или турбины. Методика оценки отражения звука от вращающегося венца отрабатывается на задаче об отражении звука от лопаточного венца Rotog 37. По данной задаче представлен анализ возникающих полей давления и рекомендации по обработке результатов расчетов. Задача о возникновении резонансов отрабатывается на расчете резонанса полости в форме прямоугольного параллелепипеда, а также ряде других модельных задач. В качестве объекта исследования рассматривается замкнутая прямоугольная воздушная полость с абсолютно жесткими стенками. В полости расположен точечный источник акустических колебаний, имеющий спектр частот в диапазоне 100—5000 Гц с линейным затуханием интенсивности колебаний на его концах по частоте. Спектр звукового давления в заданном диапазоне частот является равномерным, уровень звукового давления на каждой частоте составляет 100 дБ. Источник задан в виде источникового слагаемого в уравнении неразрывности, локализованного в произвольной точке пространства при помощи функции распределения Гаусса. Представлены результаты расчета модельных задач, результаты экспериментальных исследований, а также результаты сравнения расчета и эксперимента. Все расчеты выполнены в пакете ANSYS Fluent, используется модель термодинамически совершенного вязкого политропного газа.

19.05-01.265 Проблемы интегрирования портативных измерительных систем для контроля шума и вибрации в салонах воздушных судов. Вишняков А.Н. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 158-160. Рус.

Каждое конкретное измерение шума или вибрации на борту воздушных судов уникально и, как правило, производится для специализированных исследований с целью решения определенной технической проблемы. Состав измерительного комплекса подбирается из доступного оборудования, недостающие звенья закупаются или замещаются элементами схожих по функционалу систем. Такой способ формирования измерительного комплекса известен под термином комплексование. В прочитанном на конференции докладе содержится пример создания измерительного комплекса для контроля шума и вибрации в салонах воздушных судов. Комплексование осуществлено на основе расширенных системных технических требований на ключевые элементы комплекса. Измерительный комплекс позволяет производить автономные виброакустические измерения синхронно по 8 каналам в течение нескольких часов. Результаты дробь-октавного анализатора и сами сигналы записываются в память для последующей интерпретации.

19.05-01.266 Применение метода собственного ортогонального разложения для анализа ближнего и дальнего поля турбулентной струи. Абзалилов И.А., Бычков О.П., Фараносов Г.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 171-172. Рус.

С развитием экспериментальных методов исследования потоков (появление томографических быстродействующих си-

стем измерения скорости типа TomoPIV) и численных методов применительно к задачам аэроакустики появилась возможность получения достаточно подробной информации о пространственно-временной структуре пульсаций в объеме турбулентных течений. При этом возникает вопрос: как ее использовать? Сами по себе сотни гигабайт данных, получаемых «на выходе» экспериментов и/или расчетов, не дают физического понимания, пока исследователь не найдет в них некие закономерности, позволяющие строить математические модели изучаемого явления. Таким образом, становится актуальной задача обработки и анализа больших объемов данных о случайных пространственно-временных полях. В последние несколько десятилетий стандартные методы анализа данных, такие как, разложение на Фурье-гармоники, получение спектральных плотностей мощности сигнала, расчет корреляционных функций и функций когерентности, были дополнены новыми методами, нацеленными именно на обработку массивов временных реализаций пульсаций, синхронно измеренных во многих точках пространства. К таким методам можно отнести методы разложения по эмпирическому базису на ортогональные моды во временной (POD — proper orthogonal decomposition) и в частотной областях (SPOD — spectral proper orthogonal decomposition). Метод SPOD в последнее время достаточно часто применяется при анализе струйных течений для выделения когерентных структур. В НИО-9 ЦАГИ до настоящего времени данный метод анализа не использовался. Данная работа посвящена реализации и тестированию метода SPOD как на модельных примерах, позволяющих понять особенности метода, так и на данных, полученных при численном моделировании дозвуковой турбулентной струи, истекающей из круглого сопла.

19.05-01.267 Исследование характеристик прочности и долговечности композитных авиаконструкций при виброакустическом нагружении. Дубинский С.В., Севастьянов Ф.С., Голубев А.Ю., Денисов С.Л., Костенко В.М., Жарёнов И.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 227. Рус.

Проведено расчётно-экспериментальное исследование динамического отклика образца соединения обшивки со стрингером из полимерного композиционного материала на широкополосное акустическое нагружение. Для описания частотной и пространственной структуры воздействующего звукового поля использовалась модель полностью коррелированного по поверхности образца поля с равномерной частотной спектральной плотностью. С помощью метода конечных элементов было проведено моделирование отклика рассматриваемого соединения в полосе частот 50—1550 Гц при различных суммарных уровнях звукового давления. Анализ показал, что отклик при акустическом нагружении в выбранном диапазоне частот является одномодовым. Для валидации конечно-элементной модели был проведён ряд экспериментов на вибростенде, в которых вибрационное воздействие моделировало акустическое нагружение. Полученное экспериментальное значение логарифмического декремента затухания образца, а также реализуемые спектры нагружения использовались в качестве исходных для интегрирования уравнений движения. Результаты расчёта среднеквадратичных деформаций в зоне максимальных напряжений показали хорошую сходимость с результатами экспериментов. Долговечность образцов при различных уровнях звукового давления оценивалась при помощи приложения узкополосного спектра вибрационного воздействия. Полученные данные были использованы для построения кривой выносливости для рассматриваемого типового концентратора композитных конструкций. Для образцов, содержащих смоделированные дефекты, были рассчитаны резонансные частоты и параметры динамического отклика. Сравнение этих результатов с экспериментальными данными, характеризующими изменение резонансной частоты в зависимости от размера дефекта, позволило уточнить применяемый критерий разрушения и адаптировать конечно-элементную модель для анализа живучести композитного соединения.

19.05-01.268 Метод определения времени ускорен-

ных вибропрочностных испытаний бортового оборудования самолетов. *Абдрашитов Р.Г., Попов О.Ю. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 234. Рус.

Приводится методика определения коэффициента ускорения виброиспытаний, основанная на представлении спектральной плотности виброперегрузок, как случайного параметра с заданной вероятностью выхода его за максимальные и минимальные пределы. По найденному коэффициенту ускорения определяется эквивалентное время испытания, соответствующее заданному ресурсу оборудования самолета. В работе приводится также методика оценки количества циклов виброперегрузок, набранных оборудованием за время испытаний, позволяющая скорректировать время испытаний, если известно предельное число циклов за ресурс испытываемого оборудования.

19.05-01.269 Обработка импульсных и виброударных процессов, возникающих на элементах конструкции летательных аппаратов. *Иванушкин Е.А., Шарунов А.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 235-236. Рус.

На некоторых режимах эксплуатации боевых летательных аппаратах (ЛА), таких как работа стрелково-пушечного вооружения (СПВ), или пуск ракеты, возникают кратковременные процессы, имеющие характер виброудара или импульса. Для обработки подобных нестационарных процессов, как правило, не применимы методы обработки стационарных процессов. В работе приводятся результаты обработки виброударного процесса, на конструкции ЛА от работы СПВ. Обработка выполнялась тремя различными способами: классическое дискретное преобразование Фурье (ДПФ); методом ударного спектра (SRS); вейвлет анализом (вейвлет — «Морлет»). Результаты обработки приводятся в виде спектральных характеристик со сравнительным анализом применимости различных методов для виброударных процессов, вызванных работой СПВ.

19.05-01.270 Методы расчёта усталостной повреждаемости авиационных конструкций при различных спектрах виброакустических нагрузок. *Сидоров И.С., Севрский Ю.А., Дубинский С.В., Костенко В.М. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 236. Рус.

Основной целью данной работы является разработка расчетной методики определения усталостной повреждаемости при различных спектрах нагружения, в том числе: при акустических нагрузках на сверхзвуковых режимах (от шума двигателей и пульсаций пограничного слоя), при акустических нагрузках от воздушных винтов, при вибрационных нагрузках в вертолётных конструкциях. В основном методы расчета долговечности делятся на те, которые применяются при наличии достаточного количества временных реализаций нагрузок или напряжений (метод «дождя», метод «полных циклов») и те, которые применяются в основном на этапе проектирования, когда исходные данные о нагрузках или напряжениях в конструкции получены расчетом в частотной области (метод Райса, метод Дирлика и др.). Для анализа усталостной долговечности при использовании характеристик случайного процесса в частотной области в данной работе были исследованы и доработаны следующие подходы. Метод «полных циклов» обычно применимый только для временных реализаций был доработан путем статистического моделирования из функции спектральной мощности достаточного количества временных реализаций. Процесс нагружения конструкции моделировался в виде полигармонического процесса, наложенного на постоянный уровень сигнала. Число синусоид, частоты и соответствующие им амплитуды задавались в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой, из которой выбирались существенные амплитуды и их частоты. Фазы для каждой гармоники задавались случайными числами с равномерным распределением в интер-

вале $[-\pi, \pi]$. Такой подход позволяет применять метод «полных циклов» не только во временной области, но и в частотной. Второй рассмотренный подход — метод Дирлика, изначально применяется в частотной области. Из него была взята формула для формирования таблицы полных циклов. Полученная таблица полных циклов служит основой для определения долговечности в соответствии с выбранной моделью сопротивления усталости. На основе данных методов разработано программное обеспечение для расчета долговечности металлических конструкций из ПКМ.

19.05-01.271 Исследование и снижение шума в кабине экипажа самолета RRJ-95. *Лавров В.Н., Мошков П.А., Попов В.П., Рубановский В.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 241-242. Рус.

Актуальность проблемы обеспечения низких уровней шума в кабинах экипажей и салонах гражданских самолетов не вызывает сомнения. АО «ГСС» выполняет комплекс работ с целью обеспечения конкурентных уровней шума в салонах и кабинах экипажей проектируемых самолетов. Представлены основные результаты работы, выполняемой в 2018–2019 гг., с целью снижения шума в кабине экипажа самолета RRJ-95. Первым этапом работы было определение структуры звукового поля в кабине экипажа самолета RRJ-95 типовой конструкции в наземных и полетных условиях. В результате были определены основные пути снижения шума. Результаты этих испытаний не противоречат ранее выполненным исследованиям. На втором этапе работ была выполнена доработка кабины экипажа с целью увеличения звукоизоляции и снижения реверберационных помех. Наземные испытания показали хорошую эффективность предложенных мероприятий. Затем были выполнены летные испытания. Представлено сравнение трехконтурных спектров уровней звукового давления, регистрируемых в одной из контрольных точек для случая исходной и модифицированной компоновки. За счет увеличения звукоизоляции кабины удалось снизить суммарный взвешенный по шкале А стандартного шумомера уровень звукового давления в диапазоне октавных полос 31.5–8000 Гц в среднем по пяти контрольным точкам на 2.2 дБА. Уровень речевых помех SIL3 снижен на 2.8 дБ. Снижение спектральных уровней звукового давления наблюдается фактически во всем рассматриваемом диапазоне частот. Представлены результаты оценки вклада основных источников в суммарную интенсивность звука. Для разделения вклада комплексной системы кондиционирования и вентиляции воздуха (КСКВ) и турбулентного пограничного слоя было выполнено отключение КСКВ на режиме крейсерского полета без изменения режима работы силовой установки, высоты и скорости полета. Для оценки шума бортового радиоэлектронного оборудования были выполнены измерения шума на земле при подключении самолета к внешнему источнику питания. Оценка выполнена при условии не когерентности основных источников шума, также полагалось, что шум авионики самолета не зависит от полетных условий.

19.05-01.272 Дискуссия о приемлемых уровнях шума салона самолета и технологии его контроля. *Discussion about acceptable levies of aircraft cabin noise and its control technology.* *Huang Wenchao, Pan Kai, Hou Feng. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 245-246. Англ.

The noise level in civil aircraft cabin is a comprehensive reflection of the aircraft design technical level. While the noise level in the cabin could directly reflect the comfort of passengers, it could indirectly affect the market competitiveness of the aircraft. The sound pressure level at the passenger's ear position during cabin flight is usually employed to evaluate the aircraft cabin noise level. With the advancement of aviation technology, not only the A-weighted noise level and the speech interference level, but also other physical quantities with considering human perceptions could be used as evaluation references. The basis for the noise level in the aircraft cabin, on the other hand, due to the imbalance

of technological development, could also vary largely in terms of technical indicators. For example, a difference of 10 dB(A) in the design index of cabin noise could happen in the same generation of civil aircrafts, which might bring a large design risk. The paper emphasizes that the employment of appropriate aircraft cabin noise design standards, the development of appropriate design objectives, and the use of effective cabin noise control techniques or acoustic design methods are prerequisites for a successful design of civil aircraft. Since the China-Russia jointly developed civil aircraft CR929 is positioned as the main model to compete in the international aviation market, the indicators of its cabin acoustic design could be very important for the final performance and survival of the aircraft. How to formulate noise indicators more scientifically and adopt more effective noise control methods are the key issues facing by Chinese and Russian aviation engineers in terms of the development of CR929. The following main topics will be addressed: the importance of aircraft low cabin noise; design objectives and evaluation method of aircraft cabin noise; main factors affecting aircraft cabin noise; key technology for aircraft cabin noise control; opportunities and challenges of CR929 aircraft cabin acoustic design.

19.05-01.273 Разработка алгоритмов расчета оптимального расположения резонаторов для бортовой конструкции винтового самолета. *Лазарев Л.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 247. Рус.

Предлагается способ расчета оптимального расположения динамических виброгасителей на поверхности фюзеляжа самолета с целью снижения шума от первых гармоник винта. Фюзеляж рассматривается как тонкая оболочка, нерегулярно подкрепленная дискретными стрингерами и шпангоутами. Динамические виброгасители (резонаторы) рассматриваются как точечные осцилляторы. Алгоритм расчета строится на полученном соотношении, позволяющем на каждой итерации определять эффект от установки следующего резонатора сразу для всех точек поверхности фюзеляжа, а не последовательно для каждой отдельной точки. Метод может быть применен для широкого класса подкрепленных структур при определении не только оптимального расположения резонаторов, но и оптимального расположения на них любых точечных элементов или опор.

19.05-01.274 Обзор возможностей аэроакустического кода "Гербер". *Титарев В.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 275. Рус.

В последние годы в НИО-9 ЦАГИ активно развивается пакет параллельных программ "Гербер", предназначенный для моделирования аэродинамики и аэроакустики винтовых конфигураций. Основным методом решения является неявная конечно-объемная противопоточная разностная схема на произвольных пространственных сетках. "Гербер" позволяет моделировать практически произвольные винтовые конфигурации, что достигается комбинированием вращающихся пространственных областей (шайб) в непосредственной близости от винтов и неподвижных пространственных областей, охватывающих элементы планера. Для проведения вычислений с использованием большого количества процессоров "Гербер" использует двухуровневую модель параллельных вычислений MPI+OpenMP. На верхнем уровне параллелизма проводится геометрическая декомпозиция каждой области расчетной сетки; для обмена данными в фиктивных ячейках используются обычные средства обмена MPI. На нижнем уровне применяется технология OpenMP реализации параллельных вычислений на системах с общей памятью. Представлен обзор возможностей "Гербер" на задачи моделирования аэродинамики и аэроакустики как одиночных винтов, так и первые результаты моделирования тематической распределенной силовой установки.

19.05-01.275 Анализ RANS/ILES методом спектральных свойств и уровня пульсаций давления в дозвуковом пространственном воздухозаборнике в ком-

поновке с фюзеляжем летательного аппарата. *Любимов Д.А., Постников А.А., Пикалов М.Е., Терехова А.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 278-279. Рус.

С помощью RANS/ILES метода высокого разрешения было исследовано течение в воздухозаборнике, интегрированном с планером летательного аппарата (ЛА), с фюзеляжем сложной формы из работы *Постников А.А., Виноградов В.А., Комратов Д.В., Степанов В.А., Скрябин А.С.* Исследование процессов обтекания дозвукового входного устройства, интегрированного с планером летательного аппарата // *Физико-химическая кинетика в газовой динамике*. 2018. Т.19. № 4А. D-образное дозвуковое воздухозаборное устройство расположено на клине слива в «тени» за носовой частью фюзеляжа ЛА.

19.05-01.276 Численные исследования аэроакустических характеристик модельного несущего винта вертолета на режиме горизонтального полета. *Вершков В.А., Крицкий Б.С., Миргазов Р.М., Абалакин И.В., Бобков В.Г., Козубская Т.К. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 289. Рус.

Основным объектом исследования в рамках представленной работы является изолированный модельный четырехлопастный несущий винт с постоянным шагом жестких лопастей. Проведено численное исследование аэроакустических характеристик винта на режиме косоугольного обтекания при различных скоростях набегающего потока в пакете CFD программ ANSYS CFX и российском пакете программ NOISEtte, разработанном в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

19.05-01.277 Авиационная экология самолетов с двигателями нового поколения (достижения и проблемы). *Бакланов В.С. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 301-302. Рус.

19.05-01.278 Влияние модального состава шума авиационного двигателя на импеданс полномасштабной звукопоглощающей конструкции. *Федотов Е.С., Бульбович Р.В. Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации*. 2018, № 1, с. 310-313. Рус.

Основной акустической характеристикой звукопоглощающих конструкций авиационных двигателей является их импеданс. Импеданс зависит от большого количества факторов, но влияние номера моды на импеданс до сих пор является открытым вопросом. Приводятся результаты исследования зависимости импеданса полномасштабной ЗПК от номера акустической моды.

19.05-01.279 Исследование взаимовлияния ячеек звукопоглощающих конструкций призматической формы. *Писарев П.В., Аношкин А.Н., Максимова К.А. Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации*. 2018, № 1, с. 397-404. Рус.

Проводится численно-экспериментальное прогнозирование акустической эффективности резонаторов Гельмгольца при их совместной работе. Выявлены закономерности и основные механизмы взаимовлияния резонаторов призматической формы. Разработана схема взаимного расположения резонаторов при их совместной работе с минимальным взаимовлиянием.

19.05-01.280 Динамический срыв потока с тонкого профиля при срыве у передней кромки колеблющегося крыла при малых числах Рейнольдса. *Вань А., Фань Ч., У Я., Юй Я. Известия РАН. Механика жидкости и газа*. 2019, № 5, с. 102-116. Рус.

Исследованы нестационарные аэродинамические характеристики плоской пластины и профиля NACA 0012, колеблющихся по углу атаки в окрестности угла статического срыва по-

тока при малом числе Рейнольдса $3.2 \cdot 10^4$. Кинематика колебательного движения описывается синусоидальной функцией с различными частотой и амплитудой колебаний. Исследование для двумерного случая проведено как экспериментальными, так и численными методами. Цель экспериментов состояла в непосредственном измерении аэродинамических сил и момента. При численном моделировании нестационарное поле течения и коэффициенты подъемной силы (CL) рассчитывались с использованием гамма-тета SST (Shear Stress Transport) модели турбулентности. Имеет место хорошее качественное согласование расчетных и экспериментальных данных по CL, что указывает на адекватность модифицированной RANS модели для расчета переходных течений. В целом динамические эффекты сильнее проявляются в случае профиля NASA 0012, чем для пластины. При фиксированном значении приведенной частоты форма петли гистерезиса CL имеет некоторые характерные особенности, а именно: процесс присоединения потока при движении вниз для NASA 0012 протекает медленнее, чем для пластины, так что имеет место медленный переход для CL, а с задней кромки даже при малых углах атаки сходят стационарные вихри, что приводит к локальной неустойчивости CL. Исследование влияния приведенной частоты и амплитуды показало, что угол атаки, соответствующий максимуму CL, более чувствителен к изменениям первого параметра, а параметром, определяющим угол динамического срыва потока, как для пластины так и для профиля NASA 0012, является приведенная угловая скорость тангажа α . Помимо того, результаты, полученные при $K=0.07$, показывают, что при максимальном угле атаки коэффициенты подъемной силы и сопротивления близки к их статическим значениям для крыльев изученной геометрии и в рассмотренном диапазоне амплитуд.

19.05-01.281 Локализация дипольных источников шума плоскими микрофонными решетками. *Бычков О.П., Демьянов М.А., Фараносов Г.А. Акустический журнал.* 2019. 65, № 5, с. 675-687. Рус.

Проведено обобщение классического алгоритма локализации источников шума плоской микрофонной решеткой на случай его применения к источникам дипольного типа. Проведена верификация разработанного алгоритма и его валидация на основе обработки данных экспериментальных исследований шума обтекания цилиндра и шума взаимодействия струи с пластиной. Проведено сравнение результатов локализации дипольных источников шума с помощью плоской микрофонной решетки на основе разработанного алгоритма и азимутальной решетки на основе метода азимутальной декомпозиции.

19.05-01.282 Разработка облика самолета с использованием высокоскоростных методов вычислительной аэродинамики и оптимизации. *Анисимов К.С., Казан Е.В., Курсаков И.А., Лысенков А.В., Подаруев В.Ю., Савельев А.А. Вестник Московского авиац. ин-та.* 2019. 26, № 2, <http://vestnikmai.ru/publications.php?ID=104788>. Рус.

Проведена разработка облика трехдвигательной компоновки типа «смешанное крыло—фюзеляж» (англ. BWB). С этой целью выполнена аэродинамическая оптимизация формы мотогондолы и положения двигателей. При оптимизации для расчета аэродинамических характеристик использован метод, основанный на численном решении трехмерных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса. Для поиска оптимального решения использован алгоритм эффективной глобальной оптимизации, основанный на построении имитационных моделей. Разработанная процедура рассмотрена в контексте многодисциплинарной оптимизации третьего поколения, проводимой в рамках проекта AGILE. При выполнении проекта созданная процедура применена к самолётам, выбранным в качестве тестовых случаев.

19.05-01.283 Экспериментальное исследование вынужденных колебаний самолета при отрыве лопатки двигателя. *Пронин М.А., Рябыкина Р.В., Смыслов В.И. Вестник Московского авиац. ин-та.* 2019. 26, № 2, <http://vestnikmai.ru/publications.php?ID=104828>. Рус.

Приведены: методика наземных испытаний с моделированием сил при невращающемся роторе двигателя, основные соотноше-

ния и границы их применения, данные о средствах воспроизведения силовых воздействий на самолет, оценки достоверности и примеры результатов эксперимента с измерением частотных характеристик в режиме авторотации.

См. также **19.05-01.46, 19.05-01.47, 19.05-01.50, 19.05-01.51, 19.05-01.72**

Колебания тел и структур в потоке, аэроупругость

19.05-01.284 Исследование эффективности ВЧ ДБР плазменного актуатора в задаче снижения шума цилиндра при критическом режиме обтекания. *Копьев В.Ф., Копьев В.А., Казанский П.Н., Моралев И.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.).* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 175-177. Рус.

Плазменные актуаторы на основе диэлектрического барьерного разряда получили наиболее широкое распространение аэродинамических и аэроакустических исследованиях в сравнении с актуаторами на других видах разрядов. Их широкое распространение определяется целым рядом их несомненных достоинств по сравнению с плазменными актуаторами, использующими другие виды газового разряда. Это в первую очередь сравнительная простота конструкции, легкость их адаптации изменениям геометрии аэродинамических моделей, небольшое энергопотребление и невысокие тепловые нагрузки. Однако эффективность обычного ДБР актуатора, работающего в диапазоне частот несколько килогерц катастрофически падает с ростом скорости, и возможность эффективного использования такого актуатора ограничивается значениями скорости не более 30 м/с. В работах, проводимых в НИО-9 ЦАГИ совместно с ОИВТ РАН, исследовалась возможность использования в аэроакустических приложениях напряжения диапазона сотен килогерц. Использование высокочастотного диэлектрического барьерного разряда (ВЧ ДБР) позволило значительно расширить диапазон скоростей, в котором плазменный актуатор оказывает эффективное воздействие на течение в слое смещения турбулентных струй и в следе за плохообтекаемыми телами. Настоящая работа продолжает исследования по возможности управления шумом обтекания цилиндра с помощью высокочастотного поверхностного барьерного разряда. В работе приводятся результаты экспериментальных исследований эффективности предлагаемого плазменного актуатора при различных режимах обтекания и геометрии эксперимента. Основное внимание было сосредоточено на исследовании критического режима при числе Рейнольдса $>2 \cdot 10^5$. Эксперименты проводились в заглушенной камере с потоком АК-2 ЦАГИ.

19.05-01.285 Характеристики сверхзвуковой струи при воздействии вдува малоразмерных струй различных конфигураций. *Губанов Д.А., Киселев Н.П., Курдасев С.Г., Трубицына Л.П. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.).* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 180-181. Рус.

Поиск эффективного метода снижения шума и управления смещением высокоскоростных струйных течений имеет большое значение. Одним из актуальных способов управления воздействия на излучение струй является использование вихрегенераторов в виде вдува малоразмерных струй. Основным эффектом от их применения связан с образованием парных продольных вихрей, которые влияют на структуру течения струи. Описываются эксперименты проведенные на вертикальной струйной установке ИТПМ СО РАН с открытой рабочей камерой.

19.05-01.286 Исследование влияния вязкости на устойчивость цилиндра в циркуляционном ограниченном потоке. *Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Юдин М.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.).* М.: Центральный аэрогидродинамический

институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 189. Рус.

Работа посвящена исследованию влияния вязкости на устойчивость цилиндра в циркуляционном потоке. В невязком приближении при наличии неоднородной завихренности в стационарном течении возникает сдвиговая неустойчивость. Среднее течение в области между цилиндрами порождается вращением внутреннего цилиндра. Задача об устойчивости данной системы решалась Капицей П.Л. в связи с проблемой устойчивости быстро вращающихся роторов. В этой работе оценивалась сила, действующая со стороны жидкости на внутренний цилиндр. В нашей работе она была вычислена в приближении больших чисел Рейнольдса и проведен анализ устойчивости. Проведено сравнение инкрементов Майлсовской неустойчивости и неустойчивости связанной с вязкостью жидкости. Выявлены области параметров системы в которых доминирует одна из неустойчивостей.

19.05-01.287 Пространственно-временная структура пульсаций давления на поверхности наклонного уступа. Голубев А.Ю., Кузнецов С.В., Потокин Г.А. *Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)*. М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 248-249. Рус.

Турбулентные пульсации давления на поверхности фюзеляжа являются существенным источником шума в салоне пассажирского самолёта, так как они возбуждают колебания упругой конструкции и обшивки летательного аппарата, что приводит к излучению звука. Технологические особенности сборки летательных аппаратов приводят к наличию выступающих в поток элементов, таких как стыки панелей обшивки, крепления дверей, иллюминаторов, лючков и т.д. Измерения показывают, что отрыв потока, вызываемый даже небольшими выступами, приводит к существенному (на 20–30 дБ) локальному увеличению интенсивности пристеночных пульсаций давления, а также к росту степени их коррелированности. Помимо отрывных областей в окрестности уступа, значительные нестационарные возмущения вносит отрыв непосредственно на его передней кромке. В связи с этим встаёт вопрос о влиянии угла наклона передней кромки на характеристики поля пульсаций давления. Экспериментальные исследования проводились на дозвуковой маломощной аэродинамической трубе П-2 Московского комплекса ЦАГИ, обеспечивающей скорости вплоть до 60 м/с. Измерения проводились для выступов различной высоты при варьировании угла наклона кромки, скорости набегающего потока и толщины пограничного слоя. Было установлено, что максимальные уровни пристеночных пульсаций давления достигаются непосредственно за передней кромкой уступа и не зависят от угла наклона. В то же время, уменьшение угла наклона приводит к существенному уменьшению области повышенных пульсаций давления за передней кромкой и, непосредственно, на наклоне, в то время как пульсации давления перед уступом слабо зависят от угла наклона. Помимо этого, наблюдается весьма слабая зависимость интенсивности пристеночных пульсаций давления от толщины набегающего пограничного слоя.

19.05-01.288 Опыт сопоставления модельных и натуральных данных по пульсациям давления на надкалиберных головных частях. Архиреева Е.Ю., Даныков Б.Н., Косенко А.П., Рыбак С.П. *Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)*. М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 250-252. Рус.

Приводятся результаты анализа и сопоставления данных измерений пульсаций давления на надкалиберных головных частях (ГЧ) ракет, полученных при летных испытаниях и при испытаниях моделей ГЧ в аэродинамических трубах (АДТ).

19.05-01.289 Численное моделирование обтекания высокоскоростным потоком газа пластины с каверной у ее передней кромки. Савельев И.А., Савельев А.Д. *Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)*. М.: Центральный аэрогидродинамический

институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 290-291. Рус.

Рассматриваются результаты численного моделирования обтекания вязким газом пластины с расположенной вблизи ее передней кромки прямоугольной каверной с применением разностных схем высокого порядка. Расчеты проводятся на основе уравнений Навье—Стокса при числе Рейнольдса 10^6 и в диапазоне изменения чисел Маха набегающего потока от 1 до 12. Каверна располагается на расстоянии 10% характерного линейного размера, ее длина составляет также 10%, а глубина — 5%. Исследуются колебания давления в каверне и на пластине ниже по потоку за ней. Рассматриваются причины возникновения колебаний давления в каверне и резкого снижения их уровня при некотором значении числа Маха.

19.05-01.290 Резонансное взаимодействие воздушного потока с изгибными колебаниями конечной упругой пластины. Гестрин С.Г., Старовойтова Е.В. *Известия вузов. Физика*. 2019, 62, № 6, с. 57-63. Рус.

Изучено резонансное взаимодействие упругой пластины с обтекающим ее воздушным потоком, приводящее к развитию ветровой неустойчивости. Получено и исследовано дисперсионное уравнение изгибных колебаний. Найдены условия усиления и непроникновения изгибных волн. Для имеющей конечные размеры и шарнирно опирающейся по краям пластины, находящейся в обтекающем ее воздушном потоке, определен спектр комплексных собственных частот колебаний. Получены оценки основных параметров ветровой неустойчивости.

19.05-01.291 Расчетное исследование трехмерного кавитационного обтекания лопатки направляющего аппарата гидротурбины. Гаврилов А.А., Сентябов А.В., Финников К.А. *Известия РАН. Механика жидкости и газа*. 2019, № 4, с. 3-12. Рус.

Представлены результаты численного моделирования кавитационного обтекания модели лопатки направляющего аппарата гидротурбины, выполненные для условий экспериментальных исследований. Анализируются возможности метода моделирования отсоединенных вихрей (DES) для расчета динамики обтекания гидрокрыла в различных режимах для двух углов атаки: 3° и 9° . Приводится сопоставление средней скорости течения внутри пограничного слоя с экспериментальными данными, а также величина и форма трехмерной паровой каверны в различных режимах. Анализируется динамика паровой каверны и генерируемые при этом пульсации.

19.05-01.292 Особенности течения в гиперзвуковом пограничном слое в окрестности плоскости симметрии плоского крыла с изломом по передней кромке. Дудин Г.Н., Ледовский А.В. *Известия РАН. Механика жидкости и газа*. 2019, № 4, с. 33-41. Рус.

Исследовано течение в пространственном ламинарном пограничном слое в окрестности плоскости симметрии полубесконечного плоского крыла с изломом по передней кромке при сильном взаимодействии с внешним гиперзвуковым потоком. Выполнено асимптотическое разложение функций течения в степенные ряды по угловой координате в окрестности плоскости симметрии. Сформулирована и решена соответствующая краевая задача для первых членов разложения. Показана возможность существования нескольких решений в окрестности плоскости симметрии. Рассмотрено влияние угла стреловидности на особенности течения.

19.05-01.293 Циркуляционные эффекты при движении объектов в морской среде и атмосфере. Владимиров И.Ю., Корчагин Н.Н. *Известия РАН. Механика жидкости и газа*. 2019, № 4, с. 42-48. Рус.

Получены выражения для гидродинамической нагрузки на диполь при его циркуляционном обтекании потоком стратифицированной (двухслойной) жидкости конечной глубины. Исследованы зависимости волнового сопротивления и подъемной силы от скорости потока и циркуляции. Показано, что учет циркуляции может существенно изменить величину гидродинамической реакции на диполь. Обнаружен эффект резкого (реверсивного) изменения направления действия подъемной силы в относительно узком диапазоне скорости обтекания моделируемого диполем фрагмента трубопровода. Обсуждается возмож-

ность проявления подобного эффекта при движении самоходных подводных объектов и летательных аппаратов.

19.05-01.294 Волнообразование перед глиссирующей пластинкой. *Филатов Е.В., Якимов А.Ю.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 5, с. 52-58. Рус.

Представлены результаты проведенных в гидроканале МГУ экспериментов по движению пластинки, жестко закрепленной на динамометрической тележке. Исследовались волновой след за телом и течение перед ним в жидкости конечной глубины при околоскритических скоростях движения и малых углах глиссирования. Наблюдения показали, что стационарный периодический волновой след возникает вместе с носовой волной неизменной формы, а при отставании кормовых волн возбуждаются волны перед глиссирующей пластинкой. Получено экспериментальное подтверждение известной формулы Рассела для амплитуды единичной волны. С точностью до малых параметров показано ее совпадение с результатом М.А. Лаврентьева. Приводятся результаты численного моделирования условий эксперимента с использованием программного комплекса XFlow™. Результаты экспериментов в гидроканале совпадают с численными.

19.05-01.295 О влиянии температурного фактора на распространение возмущений при гиперзвуковом обтекании скользящей пластины. *Дудин Г.Н., Нейланд В.Я.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 5, с. 59-69. Рус.

Рассмотрено течение в пространственном ламинарном пограничном слое на скользящей пластине конечной длины на режиме сильного вязко-невязкого взаимодействия с гиперзвуковым потоком. В окрестности передней кромки проведены разложения функций течения в ряды в предположении, что на задней кромке пластины задается донное давление, величина которого зависит от поперечной координаты. Установлено, что в полученных разложениях входит неопределенная функция и ее производная по поперечной координате. Сформулированы и численно решены соответствующие краевые задачи, найдены собственные числа и показано, что показатель степени в третьем члене разложения отличается от второго только на единицу. Исследовано влияние температуры поверхности пластины на характеристики течения и на индуцирование трехмерных возмущений.

19.05-01.296 Турбулентное течение при сверхзвуковом пространственном обтекании пластины. *Тугазаков Р.Я.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 5, с. 117-124. Рус.

На языке эволюции вихрей показан процесс перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный по цепочке: усиление внешних слабых возмущений до интенсивных волн, которые приводят к турбулентному течению с внутренними масштабами задачи. Получена самоподдерживающаяся турбулентность, представлены картины течения на поверхности пластины и также структуры потока внутри турбулентного пограничного слоя с выбросами жидкости с поверхности пластины в виде "берстинга". Вычислены основные параметры течения: частота и интенсивность пульсаций газа в турбулентных пятнах. Отмечено выполнение подобия локальной турбулентности. Исследование проведено прямым численным моделированием обтекания пластины с $M=2$ в рамках нестационарных уравнений Навье—Стокса без привлечения моделей турбулентности.

19.05-01.297 Об особенностях гиперзвукового обтекания скользящей пластины. *Дудин Г.Н., Нейланд В.Я.* *Доклады академии наук.* 2019, 487, № 1, с. 24-27.

Рус.

Рассмотрено обтекание скользящей пластины в режиме сильного взаимодействия в случае, когда давление на её задней кромке не является постоянным, а изменяется по поперечной координате. Показано, что в случае появления больших поперечных градиентов индуцированного давления существенно изменяется вид разложений функций течения в окрестности передней кромки и необходимо учитывать третий член разложения.

19.05-01.298 Влияние кавитации и степени перекрытия потока цилиндрическими телами обтекания на картину течения. Гидродинамические и спектральные характеристики гидродинамического генератора плоского типа. *Ганиев С.Р., Шмырков О.В., Рудаков В.П.* *Доклады академии наук.* 2019, 487, № 3, с. 252-256. Рус.

Представлены результаты исследований течения за цилиндрическими телами обтекания в проточном гидродинамическом генераторе плоского типа при степени перекрытия потока телами обтекания $St/S_0=10-80\%$, числах $Re=(0,5-5)\cdot 10^5$, давлении на входе $P_{вх}=0,2-1,0$ МПа и давлении на выходе $P_{вых}=0,1-0,8$ МПа. Получено, что при одном и том же перепаде давления могут реализоваться два различных вида течения за телами обтекания: с развитой кавитационной зоной, внутри которой возникает обширная область пониженного давления, и без неё, но с образованием вихревых структур с наличием в них очагов кавитационных пузырьков. При определённых величинах отношения входного к выходному давлению, которые являются постоянными для каждого значения степени перекрытия потока, на частотах 0,5—5 кГц возникают мощные пики давления резонансного типа с амплитудой, в 2—2,5 раза превышающей максимальное значение входного давления. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524873252-256>.

19.05-01.299 Возбуждение вихревых течений на свободной поверхности жидкости вибрирующей пластиной. *Александров В.А., Копысов С.П., Тонков Л.Е.* *Журнал технической физики.* 2019, 89, N 7, с. 998-1005. Рус.

Исследованы течения на поверхности жидкости при вибрациях в ней частично погруженной пластины. При низкочастотных вибрациях пластины на поверхности жидкости образуются по 2 вихря с каждой стороны поверхности пластины, в которых частицы жидкости движутся в направлении от поверхностей пластины. При параметрическом возбуждении поперечных капиллярных волн вблизи границы слоя жидкости, смачивающей поверхность пластины, направление течений в вихрях становится противоположным. Высоочастотные вибрации пластины создают на поверхности жидкости дополнительно вторичные вихри.

19.05-01.300 Исследование аэродинамических характеристик вращающихся цилиндров, расположенных параллельно друг другу. *Танашева Н.К., Нусупбеков Б.Р., Дюсембаева А.Н., Шушубаева Н.Н.* *Журнал технической физики.* 2019, 89, N 7, с. 1006-1008. Рус.

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению коэффициента лобового сопротивления и коэффициента подъемной силы систем вращающихся цилиндров, расположенных параллельно друг другу. Результаты показали, что при росте расстояния между вращающимися цилиндрами уменьшаются коэффициент лобового сопротивления и коэффициент подъемной силы. Экспериментально установлено, что расстояние, начиная с которого влияние цилиндров друг на друга практически исчезает, составляет 0.4 диаметра исследуемых цилиндров.

Акустика структурно неоднородных сред; Геологическая акустика

Теория линейных и нелинейных волн в геологических структурах

19.05-01.301 Влияние критического угла на направ-

ленность излучения поперечной волны наклонным преобразователем. *Данилов В.Н.* *Контроль. Диагностика.* 2019, № 4, с. 14-25. Рус.

В дальней зоне получено асимптотическое выражение смеще-

ния поперечных волн, возбуждаемых в упругой среде наклонным преобразователем с учетом особенностей излучения таких волн под углом ввода, приближающимся к третьему критическому. При достаточной удаленности от критического угла это выражение переходит в полученное ранее в геометрикоакустическом приближении. Проведенные оценки для стали показали, что для преобразователей с номинальными углами ввода 37—40° влияние этого критического угла обуславливает увеличение угла регистрации максимума сигнала, наблюдавшееся ранее экспериментально. На эту особенность влияют как расстояние до точек регистрации поперечной волны, так и рабочая частота преобразователя и размер его пьезопластины (ширина диаграммы направленности).

Обратные задачи сейсмоакустики

См. 19.05-01.138

Акустика землетрясений, вулканических извержений, иных катастрофических природных явлений

19.05-01.302 Исследование и верификация скоростных моделей земной коры методами математического моделирования и активной сейсмологии. *Ковалевский В.В., Фатьянов А.Г., Караваяев Д.А., Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Мордвинова В.В., Тубанов Ц.А., Базаров А.Д.* 2019. 10, № 3, с. 569-583. Рус.

Представлены результаты сравнения теоретических сейсмограмм для двух скоростных моделей земной коры и данных о временах вступлений Р-волн на экспериментальных вибрационных сейсмограммах на 400-км участке профиля Байкал—Улан-Батор. Теоретические сейсмограммы получены методами математического моделирования волновых полей для скоростных моделей земной коры, построенных по данным экспериментов BEST и PASSCAL. Вибрационные сейсмограммы получены при измерении волнового поля вибратора ЦВО-100 Южно-Байкальского полигона СО РАН. Экспериментальные значения времен вступлений в группе Р-волн на вибрационных сейсмограммах соответствуют значениям на теоретических сейсмограммах для волн большой амплитуды. Сравнение теоретических сейсмограмм эксперимента BEST и данных о временах вступлений Р-волн на экспериментальных вибрационных сейсмограммах на 400-километровом участке профиля Байкал—Улан-Батор показывает, что экспериментальные времена вступлений волн максимальной амплитуды соответствуют теоретическим годографам волн со скоростью 6.25—6.80 км/с скоростной модели эксперимента BEST. Вместе с тем экспериментальные данные не содержат времен вступлений, соответствующих продольным волнам со скоростью $V_p=7.25$ км/с, связанных с предполагаемым слоем мощностью более 10 км в нижней коре в скоростной модели эксперимента BEST. Экспериментальные значения времен вступлений волн в группе Р-волн вибрационных сейсмограмм находятся в области времен вступлений волн на теоретических сейсмограммах эксперимента PASSCAL на всем протяжении 400-километрового профиля. Это свидетельствует о надежном определении средних значений скоростей волн в скоростной модели эксперимента PASSCAL. Следует отметить, что экспериментальные значения времен вступлений первой волны в группе Р-волн согласуются с временами первых вступлений на годографах теоретических сейсмограмм для скоростной модели эксперимента PASSCAL в диапазоне расстояний от 65 до 380 км от источника.

Акустические методы поиска полезных ископаемых

19.05-01.303 О решении задачи Римана, описывающей закачку нагретого раствора соли в водонасыщенный пласт. *Афанасьев А.А., Чернова А.А.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 4, с. 72-81. Рус.

Решена автомодельная задача о распаде произвольного разрыва применительно к процессам неизотермической фильтрации соленой жидкости. Учитывается возможность выпадения в

пористой среде осадка в виде твердой фазы соли и сопутствующее снижение проницаемости. В предположении несжимаемой среды и пренебрежении теплопроводностью предложен геометрический метод решения задачи на плоскости. Показано, что решение необходимо строить только из сильных разрывов и областей однородного распределения параметров, а централизованные волны Римана невозможны. Исследованы возможные типы решений задачи. Продемонстрировано, что при высокой температуре закачиваемого раствора соли в пласт распространяются три сильных разрыва, из которых только на внутреннем рвется температура.

19.05-01.304 Нестационарная фильтрация в пласте с трещиной гидроразрыва. *Хабидуллин И.Л., Хисамов А.А.* *Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 5, с. 6-14. Рус.

В настоящее время для интенсификации нефтегазодобычи из коллекторов с трудноизвлекаемыми запасами широко используются технологии гидроразрыва пластов. Моделирование процессов фильтрации в пластах с трещинами гидроразрыва достаточно полно развито в приближении стационарной фильтрации. Нестационарные процессы распределения давления рассмотрены применительно к теории гидродинамических методов исследований скважин, в которой рассматриваются асимптотически ограниченные интервалы изменения координат и времени (расстояния порядка радиуса скважины и времени, намного меньше, чем характерное время процесса фильтрации). В то же время в коллекторах с трудно извлекаемыми запасами (малые проницаемости пласта и высоковязкие нефти) продолжительность нестационарных процессов распределения давления может быть одного порядка с характерным временем фильтрации в пласте. В данной работе представлены новые аналитические решения задачи о нестационарном распределении давления вокруг скважины, пересеченной вертикальной трещиной. Научная новизна работы заключается в том, что в модели учитывается сжимаемость жидкости в трещине и фильтрация жидкости не только в трещине, но и в пласте. Решения задач построены методом преобразований Лапласа. В частных случаях из полученных решений следуют известные в литературе выражения. Проведен анализ полученных аналитических решений, позволяющий определить основные характерные особенности рассматриваемых процессов фильтрации.

Акустическое и вибрационное воздействие на нефте- и газоносные структуры

19.05-01.305 Особенности использования автоматизированного сейсмоакустического комплекса обнаружения объектов комбинированным методом. *Features of the use of an automated seismic acoustic complex by a combined method of detection objects. Nikiforov M.M., Pampukha I.V., Loza V.M., Shcherbina S.V., Shevtsov A.G.* *Геофизический журнал.* 2018. 40, № 6, с. 150-158. Англ.

Дан анализ существующих разведывательно-сигнализационных приборов, построенные на принципах, в основе которых лежит использование современных сейсмоакустических датчиков обнаружения координат подвижных и неподвижных объектов. Раскрыты преимущества и недостатки сейсмического и акустического принципов обнаружения как отдельных и независимых методов, а также преимущества при применении комбинированного способа обнаружения. Комплексное использование акустических, сейсмических или сейсмоакустических датчиков вместо только одного типового элемента позволяет существенно расширять области применения комплексных групп этих устройств, соответственно уменьшает влияние природных свойств на процессы для качественных и точных результатов измерения. Приведены результаты автоматической обработки реальных сейсмоакустических записей на полигоне «Дивички», полученные с помощью метода математической обработки сейсмического, акустического или сейсмоакустического сигнала. Этот метод базируется на широко известном методе выделения первичных вступлений волн на основе использования LTA/STA метода (Long Time Amplitude/Short Time Amplitude method). Согласно результатам исследований автоматизированный подход обработки потока данных на осно-

ве использования LTA/STA метода позволяет достаточно точно определять время вступления волн сейсмоакустического сигнала различного происхождения. Проведена предварительная статистическая оценка разности значений рассчитанных координат источника сейсмоакустического сигнала и его реальных координат. Показано, что существует возможный выбор оптимального значения скорости распространения сейсмоакустического сигнала, значение которого может быть использовано при проведении последующих исследований на полигонах, карьерах или в шахтах. Представлены предварительные выводы, согласно которым одновременное использование общих принципов для сейсмического и акустического сигналов при выявлении их происхождения значительно повышает эффективность работы этих методов и средств для обнаружения координат подвижных объектов или техногенных явлений, а также увеличивает точность определения динамики значений координат военных объектов и других опасных процессов, которые они генерируют.

19.05-01.306 Фильтрация сембланса при обработке записей волнового акустического каротажа. *Ахметсафин Р.Д., Ахметсафина Р.З. Известия высших учебных заведений. Приборостроение.* 2019. 62, № 6, с. 503-510. Рус.

Предложены методы фильтрации сембланса. Сембланс является основным инструментом оценки интервальных времен (скоростей) составляющих волнового пакета многоэлементного волнового акустического каротажа. Сембланс, или STC (Slowness-Time Coherence), — мера когерентности распределения энергии между зарегистрированными сигналами на прием-

никах антенной решетки зонда волнового акустического каротажа в координатах τ — p или “приведенное время пробега волны от середины антенной решетки (τ) — интервальное время (p)”.

19.05-01.307 Методика определения направленности сигналов геоакустической активности на примере имитационных событий. *Чешев М.Е., Имашев С.А. Вестник Кыргызско-Российского Славянского ун-та.* 2018. 18, № 12, с. 184-188. Рус.

Представлены результаты анализа серии имитационных событий, зарегистрированные геоакустическим датчиком А1638 на территории Научной Станции РАН. На основе данных горизонтальных каналов (X , Y) были построены распределения направлений прихода геоакустической волны в виде круговых гистограмм. Все серии показали преимущественное направление, совпадающее с расположением пунктов генерации сигнала относительно пункта приема. Некоторый разброс углов вокруг преимущественного направления обуславливался перепадом высот между исходной точкой генерации сигнала и геофона, неоднородностью объема коренной породы, а также эффектом за счет реверберации. Предложенная методика обработки данных геофона может быть использована для определения преимущественных направлений прихода акустических откликов во время проведения электромагнитных зондирований земной коры с помощью электроразведочной генераторной установки (ЭРГУ-600-2).

См. также **19.05-01.208**

Акустическая экология; Шумы и вибрации

Шумы и вибрации в воздушной среде

19.05-01.308 Использование полумарковских вложенных процессов для описания нестационарных акустических шумов. *Луценко В.И., Луценко И.В., Ло И., Соболяк А.В. Прикладные вопросы формирования и обработки сигналов в радиолокации, связи и акустике. Сборник тезисов докладов IX научно-практического семинара.* Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018, с. 25-27. Рус.

Предложена имитационная модель нестационарных акустических шумов, создаваемых природными и антропогенными объектами, использующая вложенные полумарковские процессы. Показано, что акустические шум ветра, листвы деревьев, шаги человека и звуков выстрелов удовлетворительно описываются предложенной моделью.

19.05-01.309 Информационность типовых и полно-спектральных методов оценки уровня акустического шума в городской среде. *Хромулина Т.Д., Кириллов И.Н., Булкин В.В. Прикладные вопросы формирования и обработки сигналов в радиолокации, связи и акустике. Сборник тезисов докладов IX научно-практического семинара.* Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018, с. 36-39. Рус.

Рассматриваются некоторые результаты мониторинга акустического загрязнения больших промышленно развитых городов (на примере города Муром). Мониторинг осуществлён с помощью совмещённой эколого-метеорологической системы. Проанализированы погрешности измерения, обусловленные стандартной процедурой октавного анализа с контролем на центральных средневзвешенных частотах. Приведены результаты некоторых измерений.

19.05-01.310 Расчетное исследование особенностей истечения струй из прямоугольных сопел и генерируемого ими шума в дальнем поле. *Шорстов В.А., Макаров В.Е. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроаку-*

стике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 44-45. Рус.

Представлены результаты исследования с использованием разрабатываемого в ЦИАМ нового численного метода течений в струях, истекающих в затопленное пространство из различных модельных сопел с прямоугольным поперечным сечением.

19.05-01.311 Метод и результаты оценки влияния компоновки двигателей на уровне шума на местности дозвукового самолета. *Дмитриев В.Г., Самошкин В.Ф., Маслова Н.П. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 69-70. Рус.

Представлены методика оценки и экспериментальные и расчетные данные по влиянию экранирования шума СУ крылом и фюзеляжем на уровне шума самолета в трех контрольных точках на местности. Дается сравнение расчетных оценок эффекта экранирования шума, полученных с помощью реализованных в программных комплексах “ANOPP” и “Аэрошум” приближенных методов расчета дифракции звука. Показано влияние шума планера на величину снижения уровня шума самолета на режиме захода на посадку за счет экранирования шума СУ.

19.05-01.312 Исследование шума взаимодействия с модельной струей закрылков различной конфигурации. *Сорокин Е.В., Бульбович Р.В., Ершов В.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 74-75. Рус.

Оснащение современных самолетов с компоновкой низкого расположения крыла турбореактивными двигателями с большой степенью двухконтурности и большим диаметром внешнего контура привело к появлению реактивной струи вблизи отклоненных закрылков (закрылки не обязательно входят в поток струи). В результате на режимах взлета и посадки стал проявляться эффективный источник шума. Таким образом, актуальным является вопрос нахождения способов сни-

жения шума данного источника, одним из которых может являться применение закрылков различной конфигурации. В качестве объекта исследования выбрано крыло самолета Boeing 737-500. Для проведения экспериментов создана модель с геометрическим подобием 1:6. Модель представляет собой часть крыла, к которому могут крепиться сменные предкрылки и закрылки. Элементы модели изготовлены посредством 3D-печати из ABS пластика. В работе исследовались три типа конфигураций закрылков: первый тип представлял собой обычный сплошной закрылок; второй тип основывался на применении различных направляющих ребер на поверхности закрылка; третий тип включал в себя применение шевронов различных размеров на кромке закрылка. Для оценки аэродинамического качества проводился численный эксперимент, в котором рассматривалось цельное крыло с закрылками данных конфигураций. Расчеты выполнялись в стационарной трехмерной постановке. Потери аэродинамического качества относительно сплошного закрылка у закрылков с направляющими ребрами и шевронами не обнаружено. Экспериментальные исследования по шуму взаимодействия проводились в акустической заглушенной камере ПНИПУ со струйной установкой. Было проведено два типа экспериментов: измерение шума в дальнем поле; локализация источников шума методом плоского бимформинга. Шум в дальнем поле измерялся с помощью 7 четвертьдюймовых микрофонов Brüel&Kjær, расположенных на отдельных стойках под углами от 15 до 105° с шагом 15° относительно оси истечения струи, на расстоянии 50 калибров сопла. Для проведения локализации источников шума выполнялись измерения 9-лучевой 54-канальной микрофонной решеткой Brüel&Kjær, расположенной на расстоянии 110 калибров от среза сопла. Истечение модельной струи происходило со скоростью 0.7 М. Использовалось круглое и шевронное сопло. Измерения шума проводились при углах отклонения закрылков 0, 20, 45°, что соответствует режимам нормального полета, взлета и посадки. Результаты измерений показали, что применение на поверхности закрылка направляющих ребер для использованных значений высоты и ширины ребер, а также расстояний между ними не привело к снижению шума относительно обычного сплошного закрылка. Применение же шевронных закрылков рассмотренных конфигураций продемонстрировало слабый эффект снижения шума (не более 2 дБ). При локализации в зависимости от частоты источник наблюдается на кромке закрылка или под крылом. В некоторых случаях источник разделяется на два. Исследования выполнены на уникальной научной установке «Акустическая заглушенная камера с аэродинамическими источниками шума», регистрационный номер 500617.

19.05-01.313 Расчетная оценка снижения шума регионального самолета путем модификации системы шумоглушения силовой установки. Николаев Д.И., Халецкий Ю.Д. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 83-84. Рус.

Поставлена задача модификации без вмешательства в рабочий процесс двигателя или без каких-либо изменений конструкции вентилятора, но при ограниченном изменении конструктивных параметров системы шумоглушения, обосновать возможность снижения шума регионального самолета до требований Стандарта ИКАО.

19.05-01.314 Интегральное сравнение расчетных и измеренных акустических характеристик A321NEO с ТРДД и ТРДДР. Замтфорт В.С. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 85-86. Рус.

За последние годы в мире создан целый ряд новых пассажирских самолетов, оснащенных двигателями с большой и сверхбольшой степенями двухконтурности. Для акустики интересен самолет A321NEO, который предлагается авиакомпаниям в двух вариантах: с ТРДД с прямым приводом LEAP 1A CFM International и с ТРДДР — редукторным ТРДД PW1133G. С точки зрения акустики главное отличие этих двух семейств

двигателей — прямая и редукторная схемы двигателей. Так у ТРДД из-за минимизации шума вентилятора — основного источника шума самолета необходимо снижать окружную скорость и его и турбины низкого давления (ТНД), что приводит к увеличению числа ее ступеней с 2—3 до 6—7. В то же время использование редуктора у ТРДДР позволяет сделать независимыми валы вентилятора и ТНД, что дает возможность увеличить окружную скорость ТНД и уменьшить число ее ступеней до 2—3. Оценим теперь акустические характеристики самолета A321NEO с ТРДД и ТРДДР. Такая задача была поставлена и решена в 2013 г. автором совместно с Р.З. Нигматулиным (ЦИАМ), который спроектировал ТНД для ТРДДР. С помощью постоянно обновляемого и расширяемого программного комплекса БАСТОН были проведены расчеты акустических характеристик двух вариантов A-321NEO самолета. Принято, что оба варианта двигателя рассчитаны на одну и ту же тягу, степень двухконтурности (m), степень повышения полного давления в вентиляторе и имеют один и тот же газогенератор и одинаковые дроссельные характеристики. Для основного источника шума — вентилятора — задача сводится к выбору оптимальной (по шуму) величины его расчетной окружной скорости ($U_{вр}$). Рассмотрим сначала ТРДД; известно, что при уменьшении расчетной окружной скорости и постоянной π_d увеличивается аэродинамическая нагрузка на лопатках РК и растет уровень широкополосного шума, а при увеличении $U_{вр}$ до транс- и сверхзвуковых значений начинает генерироваться шум ударных волн, во многом определяющий шум вентилятора. Для ТРДДР оптимизация $U_{вр}$ может выполняться независимо от ТНД с учетом изложенных выше соображений, а окружная скорость ТНД должна быть максимальной для минимизации числа ее ступеней при сохранении высокого КПД. Для определенности примем $U_{вр}=400$ м/с для ТРДД и $U_{вр}=300$ м/с для ТРДДР. При акустических расчетах ТРДДР учитывался и новый источник шума — ТНД — и не оценивался еще один новый источник шума — редуктор. Результаты расчетов показали, что с двумя вариантами двигателя при оптимально выбранной $U_{вр}$ самолет A-321NEO имеет близкие (по сумме 3-х контрольных точек) уровни шума. Отметим, что для самолета с ТРДДР на посадочном режиме определяющим является шум ТНД. Предполагается, что редуктор является источником относительно низкочастотного шума, который не вносит заметного вклада в шум двигателя и самолета в контрольных точках на местности, поэтому уровни его шума не рассчитывались. В 2017 г. EASA провела сертификационные испытания обоих вариантов самолета A321NEO из которых следует, что выводы, сделанные в работе в 2013 г. полностью подтвердились: самолеты A321NEO с ТРДДР PW1133G-JM и с ТРДД LEAP 1A33 при $G_{взл}=93.5$ т и $G_{пос}=79.2$ т имеют практически равные уровни шума при наборе высоты и посадке (± 0.2 EPNдБ), а на взлете A321NEO с ТРДДР генерирует на 2.2 EPNдБ большие уровни шума, чем A321NEO с ТРДД. Анализ показал, что это связано с меньшей $m=11$ у ТРДД LEAP 1A33 и большей $m=12.2$ ТРДДР PW1133G-JM. Известно, что у ТРДД с меньшей m медленнее падает тяга при росте скорости полета и при взлете самолет быстрее разгоняется и набирает высоту, генерируя меньше уровни шума. Отметим, что разность в скоростях падения тяги по скорости движения самолета в работе не могла быть учтена, т.к. такие характеристики представляют коммерческую тайну двигателестроительных фирм. Самолеты A321NEO с обоими двигателями имеют и близкие суммарные запасы (по сумме трех контрольных точек) — 25.5 EPNдБ (с LEAP 1A33) и — 23.3 EPNдБ (с PW1133G-JM) по отношению к нормам 3-й главы стандарта ИКАО. Запасы по отношению норм 14 главы стандарта ИКАО, введенной с 31.12.2017 г., составляют 8.5 и 6.3 EPNдБ соответственно.

19.05-01.315 Особенности нормирования шума в районе расположения аэропортов. Веспалов М.С., Оселедец Е.Ю. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 303-304. Рус.

19.05-01.316 Разработка подходов к оценке влияния технического совершенства гражданских самолетов и технических решений на область с повышен-

ным уровнем шума в зоне аэропорта. **Касаткин А.А., Шустов А.В.** Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 305. Рус.

Взаимное сближение границ аэропортов и жилого строительства приводит к обострению проблемы авиационного шума на местности. Возможным путем решения этой задачи является разработка новых технологий снижения шума, например, разработка новых звукопоглощающих конструкций, оптимизация траекторий полетов, формирование рационального с точки зрения шума на местности парка воздушных судов, формирование рациональных компоновок планера и силовой установки летательного аппарата. Одним из подходов к снижению уровней авиационного шума на местности является экранирование силовой установки элементами конструкции самолета. Описывается подход, основанный на решении уравнения Гельмгольца для набора акустических источников, моделирующих шум самолета. Рассматривается модельный пример с использованием некоторых характеристик самолета типа ИЛ-96. В качестве критериев оценки технического совершенства выбраны уровни шума, регистрируемые в контрольных точках, и контуры повышенного уровня шума вблизи аэропорта. Проводится анализ влияния положения источника акустического излучения относительно модельного элемента поверхности летательного на рассматриваемые критерии. Оценивается эффективность замены действующего парка воздушных судов на более совершенные воздушные суда с точки зрения акустической обстановки в зоне аэропорта.

19.05-01.317 К анализу шума городского рельсового транспорта. Заславский Ю.М., Заславский В.Ю. 2019, 5, № 2, с. 7-13. Рус.

Выполнены натурные эксперименты по регистрации воздушно-акустического шума движущегося городского рельсового транспорта линейной решеткой микрофонов со сканируемой характеристической направленности. При анализе характеристик шума использованы специально разработанные алгоритмы и программы многоканальной обработки сигнала. По данным эксперимента установлено наличие угловой направленности акустического шума рельсового транспорта, характерной для определенной полосы в его частотном спектре. Построенные для этих частот полярные диаграммы воздушно-акустического шума демонстрируют резко обозначенные азимутальные направления с наибольшей интенсивностью излучения, по которым определяется текущее направление на источник. Присутствующие в диаграмме побочные лепестки обусловлены влиянием реверберации шума от близлежащих строений.

19.05-01.318 Акустическое загрязнение окружающей среды строительными площадками. Филонова Е.Н., Белова Д.Д. Безопасность жизнедеятельности. 2019, № 6, с. 20-25. Рус.

Исследован шум на строительной площадке в городе Новосибирске по методике государственного стандарта. Доказано, что строительная площадка является источником акустического загрязнения окружающей среды. Согласно нормативным документам дана санитарно-гигиеническая оценка влияния шума стройплощадки на население и работников. Для строителей эквивалентный уровень звука в пределах нормативных требований — не превышает нормативный уровень 80 дБА, однако для жителей близлежащих домов уровень звука превышен на 15–24 дБА. Перечислены меры по улучшению обстановки.

19.05-01.319 Оценка шума железнодорожного транспорта и разработка шумозащитных мероприятий. Буторина М.В., Куклин Д.А., Матвеев П.В., Олейников А.Ю. Вестник Ростовского гос. ун-та путей сообщения. 2019, № 2, с. 57-65. Рус.

Железнодорожный транспорт является одним из основных источников шума в городах, под влиянием которого в России находится до 10% жилой застройки. В данной статье проанализированы факторы, влияющие на шумовую характеристику железнодорожных линий, и проведена оценка уровней шума по-

токов железнодорожного транспорта. Расчеты позволили оценить уровни шума железнодорожных линий различных категорий, которые составляют от 60 до 80 дБА в зависимости от загруженности и допустимой скорости магистрали. Анализ результатов расчета показывает, что под влиянием шума железнодорожных линий находится жилая застройка на расстоянии от 70 до 950 м. Предложенная классификация железнодорожных линий по уровням шума является основанием для разработки карт шума, она также позволила определить наиболее эффективные шумозащитные мероприятия, позволяющие обеспечить допустимые уровни шума на прилегающей территории. Наиболее эффективными мерами по снижению шума поездов представляется комплекс мероприятий, направленных на снижение шума в источнике и на пути распространения, т.е. шумозащитные экраны и их комбинация с мероприятиями по совершенствованию подвижного состава и улучшению акустических свойств пути.

См. также **19.05-01.65, 19.05-01.80, 19.05-01.245, 19.05-01.246, 19.05-01.251, 19.05-01.253, 19.05-01.254, 19.05-01.260, 19.05-01.261**

Подводные шумы и вибрации

19.05-01.320 Проблемы нормативного и методического обеспечения измерений шума воздушных судов на местности. Куриленко Ю.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 157. Рус.

В настоящее время в Российской Федерации отсутствуют обязательные технические требования (в виде технического регламента) к шуму воздушных судов, воспринимаемому на земле. Сертификация воздушных судов проводится в соответствии с Приложением 16 ИКАО и регулируется международными правилами. Поэтому измерения шума, выполняющиеся в этих целях, формально находятся вне сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений, что порождает неопределенную юридическую ситуацию. Отсутствуют обязательные метрологические требования к измерениям шума воздушных судов. В прочитанном на конференции докладе освещаются вопросы методического обеспечения измерений шума воздушных судов в целях гигиенического контроля, такие как отсутствие четко сформулированных определений периода контроля, вопросы оценки и использования неопределенности измерений, отсутствие методик длительного мониторинга шума, проблемы применения ГОСТ 22283-2014, проблемы использования AEDT (Aviation Environmental Design Tool) для экологических расчетов.

19.05-01.321 Подводные шумы легководолазов, обусловленные аэро- и гидродинамическими эффектами. Кореньбаум В.И., Костиев А.Е., Горовой С.В., Дорожкин В.М. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 215-216. Рус.

Пассивный акустический мониторинг легководолазов позволяет обеспечить безопасность дайвинга и предотвратить проникновение террористов и/или браконьеров со стороны воды. Связанные с аэро- и гидродинамическими эффектами шумы перспективны для использования в этом назначении. Происхождение данных шумов обусловлено дыханием водолаза и движениями ласт. Вследствие малых волновых размеров в области низких частот излучение в воду для обоих механизмов может быть описано точечными мультипольными источниками. Респираторные шумы определяются модуляцией дыхательным циклом человека движения газа при функционировании водолазного снаряжения. Как показывают камеральные эксперименты в бассейне с водолазами-аквалагангистами в полосе частот 70–130 Гц наблюдается самое начало выдоха, что может быть связано с шумом отрыва выдыхаемого воздушного пузыря от дыхательного аппарата. Основной широкополосный сигнал

выдоха в полосе частот 150—1150 Гц начинается несколько позже, и поэтому может быть связан с шумом всплывающих пузырьков воздуха. Наблюдается заметное расширение спектра низкочастотного сигнала 70—130 Гц вблизи источника излучения. Это может быть ассоциировано с воздействием компонент ближнего поля излучения мультимодального источника, которые на малых расстояниях от гидрофона допускают вклад не только пульсирующих, но и осциллирующих, и даже квадрупольных составляющих. Таким образом, в области низких частот источник дыхательных шумов водолаза-аквалангиста нельзя считать чисто монопольным, как предполагалось ранее. Высокочастотный сигнал в полосе частот 3—40 кГц ассоциирован с шумами вдоха и может быть однозначно связан с аэродинамикой функционирования регулятора подачи воздуха высокого давления из баллона. Соответственно стадия вдоха может быть точно отделена от всего шумового процесса дыхания водолаза-аквалангиста. Кроме того, возможно определение дыхательного ритма. Шумы ласт связаны с гидродинамическими вихрями, сходящими с их кромок при колебательном движении. В ходе эксперимента шумы ласт и шумы дыхания определялись при проходе водолаза-аквалангиста над гидрофоном и 3-компонентным приемником градиента давления (ПГД) — приемника колебательного ускорения акустического поля. На спектрограмме отклика гидрофона видны характерные вертикальные полосы дыхательных шумов в полосе 30—400 Гц с частотой повторения 0.2 Гц. В откликах ПГД по этим шумам наблюдается асимметрия (подход—уход), связываемая с ориентацией дипольных характеристик направленности компонент ПГД. В то же время в откликах компонент ПГД хорошо просматриваются и вертикальные полосы в диапазоне частот 10—40 Гц, имеющие более высокую частоту повторения около 0.5 Гц. Поскольку и ширина полосы этих спектральных образований явно увеличивается при приближении к ПГД, они могут быть отнесены к шумам, связанным с движением водолаза на ластах. При этом шум ласт регистрируются примерно одинаково (на тех же дистанциях при подходе к ПГД и удалении) на всех компонентах ПГД. Это наблюдение может быть истолковано в пользу преимущественно ближнеполюсного характера излучения регистрируемых шумов ласт дипольным/квадрупольным источником, совокупность радиальной и тангенциальной составляющих которого приводят к потере компонентами ПГД дипольной направленности, характерной для дальнего поля более высокочастотных дыхательных шумов. При экспериментах, проведенных в реальных морских условиях, показана возможность оценки дыхательного ритма водолаза-аквалангиста по шумам, связанным с дыханием, на дистанциях до 140 м. Продемонстрированы возможности оценки пеленга и местоположения водолаза-аквалангиста на дистанциях до 250 м. Таким образом, низкочастотные подводные шумов водолазов-аквалангистов могут быть успешно использованы для пассивного обнаружения и мониторинга.

19.05-01.322 Метод пересчета на натурные условия уровней кавитационного шума моделей гребных винтов при измерении в однородном потоке. *Ильин В.П., Яковлева Ю.С. Труды Крыловского государственного научного центра.* 2019, № 3, с. 49-56. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом исследования являются испытания по определению уровней кавитационного шума модели гребных винтов в однородном потоке в кавитационной трубе и пересчет результатов модельных измерений на натурные условия. Материалы и методы. Исследования базируются на результатах испытаний моделей гребных винтов в однородном потоке в кавитационной трубе и способе пересчета этих результатов на условия неоднородного потока за корпусом с учетом законов моделирования кавитационного шума. Основные результаты. Разработаны метод прогнозирования спектральных уровней кавитационного шума гребного винта, основанный на результатах измерений уровней шума его модели в однородном потоке в кавитационной трубе, а также способ пересчета полученных результатов на условия неоднородного натекающего потока за корпусом. Заключение. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования уровней кавитационного шума гребных винтов кораблей и судов на рабочей стадии проектирования.

Биологические эффекты шумов и вибраций

19.05-01.323 Влияние шума на работоспособность операторов мясoperерабатывающих цехов. *Скворцов А.Н. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2018, 26, № 4, с. 402-408. Рус.

Дана общая характеристика травматизма и профессиональной заболеваемости на мясoperерабатывающих предприятиях агропромышленного комплекса (АПК), приведен подробный анализ проблемы на примере мясoperерабатывающего цеха. В ходе исследования было установлено, что повышенный уровень шума является одним из провокаторов многих профессиональных заболеваний в отрасли. Другим отрицательным последствием повышенного уровня шума остается снижение производительности труда работников. Таким образом, решение проблемы защиты работающих от повышенного уровня шума положительно отразится как на социальных, так и на экономических факторах, а также снизит текучесть кадров, продлит период активной деятельности работающих и повысит удовлетворенность от трудового процесса.

19.05-01.324 Превышение санитарных норм по шуму от автотранспорта в городах Иркутск и Ангарск (Иркутская агломерация). *Новикова С.А. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2018, 26, № 4, с. 409-418. Рус.

Акустическое загрязнение — один из видов негативного воздействия на окружающую среду. По данным Всемирной организации здравоохранения, повышенный уровень шума является второй по величине после загрязнения атмосферного воздуха экологической причиной проблем со здоровьем населения промышленно-транспортных городов. Увеличение количества автомобильного транспорта в городах Иркутской агломерации, в основном за счет числа легковых автомобилей, приводит к повышению уровня шума, его проникновению в жилые дома, производственные и частные здания. Повышение уровня шума связано также со строительством новых автомагистралей, мостов и кольцевых развязок в городах. В статье проведена оценка шумового загрязнения крупных городов Иркутской агломерации. Выполнены натурные обследования состава и интенсивности движения автотранспортных средств на крупных перекрестках, магистралях и территориях жилой застройки. С помощью шумомера произведены измерения уровня шума в дневное и ночное время, и построены карты уровня шума улично-дорожной сети городов. Изучена законодательная база по нормированию шума в Российской Федерации и странах Европейского союза. Разработан комплекс мероприятий, способствующий уменьшению акустического воздействия на жителей городов Иркутской агломерации.

Воздействие шумов и вибраций на сооружения и технику

См. 19.05-01.323

Структурная акустика и вибрации

19.05-01.325 Подход к снижению шума СПС за счет малошумного управления тягой СУ на взлете. *Мирзоян А.А., Халецкий Ю.Д. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 40-41. Рус.

Одним из возможных способов снижения шума сверхзвукового пассажирского самолета (СПС) на взлете является специальное управление взлетной тягой двигателей. Возможности такого управления тягой ограничиваются условиями действующей сертификационной процедуры по шуму (ИКАО, Приложение 16, том I; AC 36-4D, CS-36, AP-36), нормами летной годности (FAR 25, CS-25, AP-25), а также строгими требованиями к длине ВПП. Представленная работа посвящена исследованию

возможности снижения шума двухдвигательного СПС при использовании специальных малозумных программ управления.

19.05-01.326 Влияние малошумной конструкции планера крупного коммерческого самолета на сертификационный шум. Influence of low noise design of large commercial aircraft airframe on certification noise. **Xiaodong Li, Baohong Bai.** Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 80-82. Англ.

Considerable efforts have been made to attenuate airframe noise. Several passive and active flow-control techniques have been proposed to reduce the slat low-frequency noise, which is the most prominent component in slat noise spectra in real aircraft. Slat cove cover and slat cove filler [Imamura T., Ura H., Yokokawa Y., Enomoto S., and Yamamoto K. "Designing of Slat Cove Filler as a Noise Reduction Device for Leading-Edge Slat," 13th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, AIAA Paper 2007-3473] modifications that postpone or eliminate shear layer formation provide significant acoustic benefits. In the case of the cove filler, the broadband noise is reduced by 3–4 dB. However, it is difficult for the slat with cove cover or slat cove filler to retract and form a seamless surface when the slat is not desirable. Alternatively, a blade seal [Khorrami M.R., and Lockard D.P. "Effects of Geometric Detail on Slat Noise Generation and Propagation, International Journal of Aeroacoustics. 2010. Vol. 9, No. 4-5. Pp. 655-678] gives a 2–3 dB reduction at low frequencies (less than 2 kHz), whereas an elongated blade seal eliminates most of the small-scale vortices generated at the cusp. The application of acoustic liner treatments [Ma Z., and Zhang X. "Numerical Investigation of Broadband Slat Noise Attenuation with Acoustic Liner Treatment," AIAA Journal. 2009. Vol. 47. No. 12. Pp. 2812-2820] can also be used to attenuate the noise. Kopeiev et al. [Kopeiev V.F., Zaitsev M.Y. and Belyaev I. "Noise Reduction Potential Through Slat Hook Serrations," 17th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, AIAA Paper 2011-2909] suppressed narrowband peaks located in the frequency region 1.5-7 kHz by serrated slat hooks. Kuo and Sarigul-Klijn [Kuo B. C. and Sarigul-Klijn N. "Conceptual Study of Micro-Tab Device in Airframe Noise Reduction: (2) 3D Computation," Aerospace Science and Technology. 2012. Vol. 17. No. 1. Pp. 32-39] reduced the deployment angle of the slat to suppress the slat noise, which increases rapidly if the deflected angle of the slat is enlarged. The loss of lift efficiency was compensated by a micro tab implemented at the flap pressure side. Wild et al. [6] attenuated the slat noise by implementing the very long slat chord to lower the speed of the slat trailing-edge flow. However, these noise suppression techniques are far from being applied into the real aircraft, because high-lift devices must satisfy the aerodynamic requirement firstly. An aerodynamic and aeroacoustics optimization design method for high-lift device was established by the authors recently [Wild J., Pott-Pollenske M., Nagel B. "An Integrated Design Approach for Low Noise Exposing High-Lift Devices," AIAA Paper 2006-2843]. The optimization design method integrated the parameterized geometric model, mesh generation, CFD computation and far field noise prediction technique. The optimization design based on a genetic algorithm (GA) was accomplished for multi-element airfoil. The 30P30N three-element high-lift airfoil was selected as the baseline airfoil and optimized in aerodynamic and aeroacoustics. The location and orientation parameters of the slat relative to the main wing, defined by deflection angle, overlap and gap, were optimized to obtain the maximum lift coefficient, which can be calculated by CFD and minimum radiated noise level. The physics-based slat noise model proposed by Guo [68, 99] was applied to predict the high-lift far field noise level. The optimized three-element airfoil was proved to have a better aerodynamic performance and the minimum of the noise level was obtained. In the present paper, the aerodynamic and aeroacoustics optimization design of high-lift device at landing condition will be given. Meanwhile, the gains of airframe noise reduction on certification noise will be evaluated. An airframe noise prediction method based on physics was developed, which can reflect the impact of the low noise airframe configuration and flight path on certification noise. The aircraft certification noise is predicted and the airframe noise contour map is plotted for a particular aircraft. The method

can provide a reference for the low noise design of airframe configuration and flight path.

19.05-01.327 Эволюция уровней шума силовых установок реактивных самолетов. **Дмитриев В.Г., Самохин В.Ф., Халецкий Ю.Д.** Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 91-92. Рус.

Представлены результаты анализа эволюции шумности силовых установок двух наиболее распространенных классов самолетов: двухдвигательных ближне-средне магистральных (БСМС) и дальних магистральных самолетов (ДМС). В анализе рассматриваются самолеты с двигателями со степенью двухконтурности $m \equiv 4.5–12.2$. Выявлено наличие на шкале времени 3-х характерных областей запасов уровней шума, соответствующих различным уровням применяемых в двигателях технологий. Сравнительная оценка акустической эффективности трех уровней технологий показала, что при использовании технологий 2-го уровня ведущую роль в снижении шума самолетов на взлете играет пассивная система шумоглушения, а при использовании технологий 3-го уровня — активные методы снижения шума двигателя и усовершенствованные пассивные системы шумоглушения. Представленные данные по шуму современных реактивных самолетов могут служить ориентиром для определения индикаторов для уровней шума перспективных авиадвигателей и самолетов.

19.05-01.328 Использование гармонических методов для расчета тонального шума вентиляторов и компрессоров. **Милешин В.И., Мухамедзянова М.М., Панков С.В., Россиягин А.А.** Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 97-98. Рус.

Одним из возможных подходов к увеличению скорости расчета тонального шума лопаточных машин является переход от методов расчета во временной области к методам расчета в частотной области. Гармонические методы, в рамках которых нестационарное поле течения ищется в виде заданного набора полей гармоник, доказали свою эффективность в применении к расчетам тонального шума вентиляторов, где они позволяют сократить расчетную область до одного межлопаточного канала на каждый венец. Также в ряде работ, в том числе выполненных авторами, было показано, что гармонические методы позволяют провести приближенный расчет тонального шума многоступенчатой турбомашин с приемлемой точностью и вычислительными затратами. При этом возможно использование гармонических методов, как в линейной, так и в нелинейной постановке. Одним из программных комплексов, в которых реализована возможность проведения расчетов тонального шума многоступенчатых турбомашин в частотной области, является программный комплекс ЦИАМ 3DAS. Метод, используемый в программном комплексе, 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 вычислительной аэроакустики. В программном комплексе дискретизация по пространству построена на основе метода конечных объемов, с использованием обобщенной на метод конечных объемов DRP схемы (Dispersion Relation Preserving Scheme). Для дискретизации уравнений по времени используется шестиступенчатая схема Рунге—Кутты типа HALE-RK (High-accuracy large-step explicit Runge—Kutta) четвертого порядка. Для расчета акустических характеристик в дальнем поле используется метод, основанный на уравнении Фокс Вильямса—Хоукинга. Метод расчета тонального шума многоступенчатых лопаточных машин в частотной области, реализованный в программном комплексе ЦИАМ 3DAS, отталкивается от кинематических соотношений, описывающих зависимость полей течения в турбомашине от времени и азимутального угла. В рамках метода решение в лопаточном венце ищется в виде набора полей гармонических фрагментов — совокуп-

ностей возмущений в венце, имеющих одинаковую частоту и фазовый сдвиг между границами межлопаточного канала. Ранее авторами было показано, что течение в венце можно разложить по гармоническим фрагментам. При этом каждой из гармоник базовой частоты возмущений в венце соответствует конечное число гармонических фрагментов, определяемое геометрией турбомшины. Данный метод прошел апробацию на тестовых задачах, а также на задаче расчета тонального шума первой подпорной ступени вентилятора ТРДД на режиме «посадка». Было показано удовлетворительное соответствие как между результатами расчетов во временной и в частотной областях, а также между результатами расчетов и эксперимента. В работе описываются результаты применения метода расчета тонального шума лопаточных машин в частотной области к различным вентиляторам и компрессорам низкого давления. В тех случаях, когда это возможно, выполнено сопоставление полученных результатов с результатами экспериментов, выполненных на стенде ЦИАМ Ц-3А.

19.05-01.329 Расчет шума вентиляторной ступени на взлетном режиме при наличии ударных волн. Белов В.Г., Дегтярев В.В., Синер А.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 99. Рус.

Постоянное ужесточение норм ИКАО по шуму самолетов на местности требует от фирм-разработчиков авиационных двигателей внедрять новые и более совершенные конструктивные мероприятия по снижению шума двигательной установки (ДУ). Для их своевременного внедрения и лучшей проработки требуется разрабатывать все более совершенные методы расчета акустических характеристик двигательной установки. Наибольший вклад в шум турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД) вносит вентиляторная ступень. Для вентиляторных ступеней современных авиационных двигателей гражданской авиации характерны трансзвуковые режимы обтекания рабочих лопаток вентилятора (РЛВ) на периферии лопатки. На высоких режимах работы двигателя при взлете самолета на периферии РЛВ наблюдаются скачки уплотнения, вращающиеся вместе с лопаточным колесом. При выполнении расчетов генерации звука такими вентиляторными ступенями требуется с высокой точностью моделировать систему вращающихся скачков уплотнения и проходящие через него звуковые волны. Однако, выполнение расчетов на подобных режимах затруднено, так как применяемые вычислительные методы и разностные схемы существенно сглаживают получаемую картину скачков уплотнения. Одним из способов повышения точности расчета является локальное сгущение сетки вблизи скачка уплотнения. Для реализации такого сгущения возможно использовать адаптацию сетки в ходе выполнения расчета. В работе представлены результаты стационарных газодинамических расчетов по выбору подходящих параметров для адаптации. Для лучшего описания движущейся системы скачков уплотнения перед рабочим колесом вентилятора также были выполнены и нестационарные расчеты. В работе показано сравнение по затраченным временным и вычислительным ресурсам при расчетах с использованием сеточной адаптации и без неё.

19.05-01.330 Расчетное исследование влияния затурбинного канала со стойками на характеристики тонального шума, генерируемого ТНД. Нигматуллин Р.З., Терентьева Л.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 100. Рус.

Турбина низкого давления не является доминирующим источником шума в авиационном двигателе, но при посадке в некотором диапазоне частот шум турбины становится значимым. Используемый в данной работе метод расчета шума турбины основан на численном интегрировании системы трехмерных нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье—Стокса. Полученное в результате расчета поле пульсаций давления преобразуется методами частотно-модального анализа, что позволяет получить тональные характеристики

шума, генерируемого в выходном сечении канала. Использование программ аэродинамического расчета турбомашин для определения акустических характеристик связано с определенными трудностями. Во-первых, вследствие разного масштаба исследуемых явлений необходимо применять подробные вычислительные сетки. Во-вторых, обычно турбина состоит из нескольких ступеней, числа лопаток роторов и статоров которых не являются кратными. При моделировании приходится рассчитывать всю окружность целиком, что также приводит к существенному росту необходимых вычислительных ресурсов. Были проведены расчеты одноступенчатой неохлаждаемой ТНД со стойками в канале за турбиной и без стоек. Количество рабочих лопаток — 121, сопловых — 138, число стоек — 7. Расчет проводился для режима посадки. Анализировались тональные составляющие спектра акустического поля, генерируемого при ротор-статорном взаимодействии. Расчеты показали, что наличие стоек приводит к эффекту рассеивания, который проявляется в увеличении числа генерируемых окружных мод. На основной частоте следования лопаток помимо моды с окружным порядком $m=17$ появляются моды с порядком $m=\dots-11, -4, 3, 10, 17, 24, \dots$, что согласуется с теорией Тайлера—Соффрина. Эти окружные моды распространяются как вниз, так и вверх по потоку. Амплитуды мод, соответствующих взаимодействию ротора со стойками, немного ниже, чем амплитуды мод, соответствующих взаимодействию ротора с сопловым аппаратом.

19.05-01.331 Разработка системы выхлопа ДВС малой мощности с улучшенными характеристиками. Суховая Е.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 101-102. Рус.

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) малой мощности в большинстве случаев относятся к двухтактным двигателям. Мощность двухтактного двигателя при одинаковых размерах цилиндра и частоте вращения вала теоретически в два раза больше четырехтактного за счет большего числа рабочих циклов. Однако неполное использование хода поршня для расширения, худшее освобождение цилиндра от остаточных газов и затраты части вырабатываемой мощности на продувку приводят практически к увеличению мощности только на 60–70%. Безусловно, к одному из важных достоинств относится и малый вес. Благодаря простоте конструкции и маленьким габаритам эти двигатели малой мощности успешно применяются в тех областях, в которых использование четырехтактных двигателя по тем или иным причинам нецелесообразно: в оборудовании для автоматизации ручного труда, на автономных минивоздушных аппаратах, на малых беспилотных летательных аппаратах и т.д. Одним из существенных недостатков двухтактных двигателей является шум высокой интенсивности, который генерируется выхлопной системой двигателя. Применительно к двухтактным двигателям, приемлемый уровень звука — это важная эксплуатационная характеристика, обусловленная влиянием шума на здоровье оператора. Кроме того, при использовании в составе военных БПЛА шум работы ДВС создает демаскирующий эффект. Для уменьшения шума ДВС используют глушители, в устройствах ДВС малой мощности их часто называют искрогасителями. По результатам анализа научно-технической литературы установлено, что работ, посвященных шумоглушению выхлопа ДВС малой мощности, немного. Большая часть исследований посвящена глушению шума двухтактных ДВС, применяемых на мотоциклах. В основном, многие разработчики используют практические рекомендации, разработанные на основе своих исследований. В результате научно-исследовательской работы были решены следующие задачи: проведен научно-технический обзор вопросов шумообразования; определен характер излучения шума на моторном стенде; выполнены экспериментальные работы по оценке эффективности глушителей шума разных конструкций; разработан и изготовлен безмоторный испытательный стенд для определения газодинамических и акустических характеристик глушителей шума; разработана методика оценки эффективности работы глушителей; предложена перспективная модель реактивного глушителя; проведено численное моделирование газодинамических сопротивлений и резонансных частот разрабатыва-

емой модели глушителя; проведена верификация полученных расчетных результатов с опытными данными. По окончании исследования были сформулированы рекомендации по проектированию глушителей шума реактивного типа выхлопной системы ДВС малой мощности, используемой в составе БПЛА.

19.05-01.332 Расчет нестационарного потока в центробежном вентиляторе и распространения тонального шума в окружающее пространство. *Аксенов А.А., Гаврилюк В.Н., Тимухин С.Ф., Клименко Д.В., Дядькин А.А., Рыбак С.П. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 103-104. Рус.

Генерация шума в проточной части центробежных вентиляторов происходит вследствие различных нестационарных гидродинамических явлений, которые можно условно разделить на два типа: возникающие в результате гидродинамического взаимодействия потока, выходящего из рабочего колеса с отводящим устройством вентилятора; вихревые. Первый вид нестационарных процессов присущ всем центробежным вентиляторам: он обусловлен периодической неравномерностью потока на выходе из рабочего колеса. В результате гидродинамического взаимодействия упомянутой неравномерности потока (вращающейся вместе с рабочим колесом) с отводящим устройством вентилятора возникают колебания на частотах следования лопаток (ЧСЛ) ротора. Расчеты выявляют существенную неравномерность относительных и абсолютных скоростей и углов потока на поверхностях лопаток ротора, так как низкоэнергетическая зона примыкает к нерабочей стороне лопатки. На выходе рабочего колеса распределение статического давления по шагу лопаток ротора близко к равномерному, поэтому разница в полной энергии жидкости, в основном, связана с тем, что скорости и углы потока выше у рабочей стороны лопатки. При прохождении лопаток рабочего колеса, вследствие рассмотренной выше неоднородности потока, происходит периодическое (с частотой следования лопаток) изменение давления в отводящем устройстве. В работе рассматривается задача численного моделирования амплитуд спектральных составляющих акустического давления на ЧСЛ в окружающем пространстве от центробежного вентилятора, который используется для прокачки воздуха обитаемого отсека через поглотительные патроны, подключаемые к выходу вентилятора.

19.05-01.333 Исследование звуковой структуры звукового ноля в наружном канале авиадвигателя при наличии пилона. *Яковец М.А., Денисов С.Л., Остриков Н.Н. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 121-122. Рус.

Настоящая работа посвящена теоретическому исследованию особенностей распространения звука в облицованном подковообразном канале моделирующем наружный канал авиадвигателя. В результате исследования определены случаи, в которых допускается разделение переменных, то есть возможно непосредственное аналитическое решение для собственных мод, получен вид волноводных мод. Найдены характеристические уравнения данного канала, которым удовлетворяют собственные значения, являющиеся азимутальными и радиальными волновыми числами. Проведено исследование осевых волновых чисел, характеризующих эффективность облицовки ЗПК, при разных значениях импеданса при наличии и отсутствии ЗПК на пилоне. В итоге показано существенное влияние импеданса ЗПК на пилоне на значение мнимой части осевых волновых чисел для мод различного порядка. Данное обстоятельство говорит о том, что оптимизация ЗПК на пилоне авиадвигателя может привести к повышению эффективности системы шумоглушения и необходимо уточнять имеющиеся методики.

19.05-01.334 Численное прогнозирование акустической эффективности призматических резонаторов Гельмгольца различной конфигурации. *Писарев П.В., Аношкин А.Н., Максимова К.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической)*

конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 142-143. Рус.

Одним из наиболее эффективных способов снижения шума авиационных двигательных установок является включение в ее состав звукопоглощающих конструкций (ЗПК). ЗПК представляют собой совокупность резонаторов Гельмгольца, выполненных в виде сотовой конструкции из полимерных композиционных материалов. Такие звукопоглощающие конструкции традиционно устанавливаются на внутренней поверхности воздухозаборника авиационного двигателя для снижения шума, распространяющегося в переднюю полусферу, и на стенках канала наружного контура двигателя для снижения шума, распространяющегося в заднюю полусферу. Особый интерес представляет использование группы резонаторов 1-DOF, 2-DOF, а также исследование их совместной работы. В рамках проведенных вычислительных экспериментов исследовалось взаимовлияние резонаторов призматической формы одинакового объема, резонаторов разного объема и составных резонаторов. Осуществлялся расчет величины демпфирующего эффекта, производимого резонаторами Гельмгольца при совместной работе, в диапазоне рабочих частот 100–3000 Гц на основе численного решения уравнения Гельмгольца. По результатам вычислительных экспериментов были получены зависимости коэффициента звукопоглощения от частоты. Выявлено взаимовлияние близко расположенных сотовых резонаторов одинакового объема при нормальном падении звуковой волны. Установлено, что акустическая эффективность пары резонаторов при совместной работе ниже, чем у единичного резонатора. При рассмотрении призматических резонаторов различного объема выявлено, что подобное сочетание резонаторов позволит с одной стороны уменьшить взаимовлияние резонаторов на их совместной частоте, а с другой стороны позволит увеличить широкополосность группы резонаторов. Обнаружено, что при совместной работе резонаторов различного объема повышается эффективность "базового" резонатора, а так же повышается широкополосность группы. При рассмотрении составных резонаторов выявлено, что наиболее эффективным сочетанием для "составного" и "базового" резонаторов, является сочетание, при котором резонатор меньшего объема находится сверху. Так на эффективность при совместной работе резонаторов влияет объем и форма. Следует подчеркнуть, что использование в качестве "базового" резонатора других форм, например "биконических" повысит эффективность системы в целом. Дополнительно стоит отметить, что при совместной работе составных резонаторов повышается не только эффективность "базового" резонатора, но и повышается широкополосность группы. В рамках верификации разработанной математической модели проводится сравнение результатов численного моделирования и лабораторных испытаний, проведенных на интерферометре с нормальным падением волны. Сравнительный анализ результатов численных расчетов с результатами лабораторных испытаний выявил, что для модели с парой резонаторов одинакового объема расхождение по коэффициенту звукопоглощения не превышает 5%, по частоте 2%.

19.05-01.335 Локализация низкочастотного источника шума для турбулентной струи в условиях стендовых испытаний. *Бычков О.П., Величко С.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 164. Рус.

Согласно правилам ИКАО измерение стендовых матриц шума двигателя можно производить как наземной дугой микрофонов, так и дугой микрофонов расположенной на высоте оси полномасштабного двигателя. При современных стендовых испытаниях зачастую используются сразу две дуги микрофонов. В свою очередь наличие данных о шуме двигателя, измеренных в непосредственной близости от отражающей поверхности и на некоторой высоте от нее, позволяет извлекать интерференционную поправку для каждого из микрофонов верхней дуги. Теоретически эта поправка для импедансной поверхности была получена в работе *C.I. Chessel Propagation of noise along a finite impedance boundary*. JASA. V. 62. P. 825-834, 1977. При этом

анализ итогового выражения показал, что положение первого интерференционного минимума для каждого из микрофонов дуги, строго говоря, может изменять свое положение в частотной области, если микрофоны не центрированы на эффективный источник, связанный с данной частотной областью. Анализ серии стендовых испытаний показал, что интерференционный минимум действительно меняет свое положение равномерным образом при переходе от микрофона к микрофону. Модификация выражения для интерференционной поправки с целью учета смещения положения эффективного источника от области центрирования дуги микрофонов позволил при помощи набора экспериментальных данных определить величину смещения источника, корректно описывающую экспериментально наблюдаемое смещение положения первого интерференционного минимума. Таким образом, система двух дуг микрофонов позволяет произвести локализацию источника шума для частотной области, соответствующей первому интерференционному минимуму.

19.05-01.336 **Определение акустических нагрузок на элементы механизации МС-21 в условиях наземных гонок.** *Голубев А.Ю., Потожин Г.А., Барышева Д.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 232-233. Рус.

На базе ЛИ и ДК ОАО «ОКБ им. А.С. Яковлева» были проведены наземные гонки двигателя PW1400G-JM на самолете МС-21-300 с целью определения акустических нагрузок на элементы механизации (нижнюю поверхность крыла, закрылки, пилон, стабилизатор) в статических условиях при наземной гонке двигателя. Анализ полученных данных показал, что наибольшие суммарные уровни пульсаций давления на режиме без отклонения механизации наблюдаются на пилоне. Изменение режимов работы двигателей сопровождается повышением спектральных уровней пульсаций давления на всех измерительных точках и смещением максимума третьооктавных уровней пульсаций давления в область частот 50–80 Гц. Отклонение механизации сопровождается резким перераспределением акустических нагрузок по измерительным точкам за счет увеличения спектральных уровней пульсаций давления на закрылке и нижней поверхности крыла. Спектральный состав и суммарные уровни пульсаций давления на стабилизаторе, фюзеляже, элероне, а также на нижней поверхности крыла, закрылках вдали от пилона практически не зависят от отклонения механизации. Экспериментальные данные, полученные на масштабных моделях, и результаты численного моделирования хорошо согласуются с данными гонки двигателя.

19.05-01.337 **Применение энергетического и гибридного метода расчетов для задач снижения акустических и структурных шумов конструкций.** *Котов В.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 253-254. Рус.

Представлены возможности программного инструмента VA One разработчика решений для виртуального инжиниринга и моделирования ESI Group.

19.05-01.338 **Исследование источников шума командного отсека космического аппарата и разработка мероприятий по снижению их акустического излучения.** *Котов А.Н., Голубев А.Ю., Зайцев К.И., Рыбак С.П. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 261. Рус.

Выполнен акустический анализ внутренней компоновки командного отсека возвращаемого аппарата (КО ВА), состава, конфигурации и размещения агрегатов и оборудования, являющихся источниками шума, схемы вентиляции модуля КО ВА с целью оценки соответствия акустической среды в КО ВА требованиям ГОСТ Р 50804-95. Показано, что среди постоянно действующих источников наиболее интенсивными являются нагнетатель и блок вентиляторов, входящие в систему поддержания газового состава воздуха. Проведены экспериментальные исследования по оценке акустического излучения этих источников в акустической камере, измерены их диаграммы направленности. Проведена оценка эффективности шумоглушащих устройств (ЗПК, экран, кожух) для этих источников. Выполнены экспериментальные исследования звукопоглощения различных материалов и резонансных глушителей с перфорированными панелями. Показано, что условия КО ВА позволяют размещение облицовочных конструкций с высоким коэффициентом звукопоглощения. Проведены оценки звукового поля в акустической обшивке КО ВА, проведены экспериментальные и расчетные исследования по улучшению параметров акустической среды в КО ВА. Разработаны предложения по снижению уровня шума в кабине, включающие оптимизацию работы источников шума и применение шумоглушащих устройств.

19.05-01.339 **Определение аэродинамических и акустических характеристик малых воздушных агрегатов, используемых в командном отсеке пилотируемого транспортного корабля.** *Караджи В.Г., Рыбак С.П. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 262-264. Рус.

Рассмотрены аэродинамические и акустические характеристики нагнетателя типа «Рутс» и блока вентиляторов, используемых в командном отсеке пилотируемого транспортного корабля. Предложены возможные решения по улучшению рабочих и шумовых характеристик агрегатов.

19.05-01.340 **Анализ RANS/ILES методом влияния угла атаки и дросселирования на уровень и спектральные свойства пульсаций давления в высокоскоростном воздухозаборнике.** *Любимов Д.А., Честных А.О. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 282-283. Рус.

С помощью модифицированного RANS/ILES метода исследовано влияние угла атаки а набегающего потока на уровни и спектры пульсаций давления в изоляторе высокоскоростного воздухозаборника при разном дросселировании, которое достигалось изменением высоты дроссельной вставки на выходе из изолятора в пределах 0–0.4 высоты канала изолятора.

19.05-01.341 **Функциональные модели мер комплексного технического контроля защищенности информации от утечки по виброакустическим каналам на предприятиях авиакосмической промышленности.** *Скряль С.В., Спивак В.И., Литовченко С.А., Зеленцов В.В., Гуляев О.А. Авиакосмическое приборостроение. 2019, № 5, с. 46-55. Рус.*

Продолжение серии статей, посвященных проблемам обеспечения защищенности информации от утечки по виброакустическим каналам на предприятиях авиакосмической промышленности (АКП). На основе системной трактовки понятия эффективности защиты информации от утечки по каналам рассматриваемого типа в статье обосновывается ее показатель — своевременность выявления утечки средствами комплексного технического контроля (КТК), а также параметры, характеризующие данный показатель. Приводится декомпозиционная структура функционально представленных процессов КТК защищенности информации от утечки по виброакустическим каналам на предприятии АКП, как средства первичной формализации этих процессов с целью оценки их временных характеристик.

19.05-01.342 **Оценка влияния акустической долговечности вибродемпфирующих покрытий на шум в судовых помещениях.** *Кузнецова А.Д., Коробицына М.К. Труды Крыловского государственного научного центра. 2019, № 20193, с. 104-109. Рус.*

Рассматриваются вопросы оценки долговечности вибродемпфирующих покрытий жесткого типа, широко используемых на судах. Такая оценка весьма важна для прогнозирования снижения эффективности шумового воздействия с течением времени

в нормируемых помещениях. С интервалом в пять лет проведены измерения коэффициента механических потерь образцов пластин. На основании результатов анализа измерений проверялась статистическая гипотеза о равенстве математических ожиданий для подтверждения/опровержения статистического совпадения величин коэффициентов механических потерь. На примере разработанной модели судна с использованием энерго-статистического метода получены оценки влияния вибродемпфирующих покрытий жесткого типа на шум в судовых помещениях.

19.05-01.343 Разработка системы блокирования акустических каналов утечки информации с адаптивным управлением. *Калита А.О., Ожиганова М.И. Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки.* 2019, № 1, с. 131-136. Рус.

Описывается разработка системы блокировки акустических каналов утечки информации, имеющей адаптивный элемент управления. Ключевые слова: технические каналы утечки информации, речевая информация, адаптивная система.

19.05-01.344 Определение моментов времени генерации резонансных изгибных колебаний вращающегося вала при помощи индикаторной функции числа состояний динамической системы. *Тукмаков А.Л., Тукмакова Н.А. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника.* 2019, № 2, с. 164-168. Рус.

Рассмотрен метод и алгоритм, позволяющий диагностировать изменение динамического состояния системы на основе анализа эволюции оконной индикаторной функции числа состояний в дискретном фазовом пространстве. Построена модель двумерного фазового пространства, в котором введены дискретные состояния. Показано, что рост индикаторной функции происходит при смене динамического режима, приводящего к изменению текущего числа состояний системы. Отличительной особенностью метода является возможность построения на его основе обучаемой системы диагностики динамических режимов. В качестве примера на основе анализа акустического сигнала проанализирована смена типа динамического поведения системы с вращающимся валом, в которой при достижении критического числа оборотов возникают резонансные изгибные колебания.

19.05-01.345 Гидроупругая устойчивость коаксиальных цилиндрических оболочек, выполненных из пьезоэлектрического материала. *Бочкарев С.А., Леконцев С.В. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика.* 2019, № 2, с. 35-48. Рус.

Работа посвящена численному исследованию динамического поведения электроупругих коаксиальных оболочек, в кольцевом зазоре между которыми течет сжимаемая жидкость. Решение задачи осуществляется с использованием полуаналитического варианта метода конечных элементов. Оболочки выполнены из материала, обладающего пьезоэлектрическими свойствами и поляризованного в радиальном направлении, и рассматриваются в рамках классической теории, основанной на гипотезах Кирхгофа—Лява, а также уравнений линейной электроупругости. Распределение электрического потенциала по толщине принимается линейным. Движение сжимаемой невязкой жидкости описывается волновым уравнением, которое совместно с условиями непроницаемости и соответствующими граничными условиями преобразуются с помощью метода Бубнова—Галёркина. Давление жидкости на деформируемые тела вычисляется из линеаризованного уравнения Бернулли. Математическая постановка задачи динамики тонкостенных конструкций основана на вариационном принципе возможных перемещений. Оценка устойчивости базируется на вычислении и анализе комплексных собственных значений связанной системы уравнений, сформированной относительно неизвестных величин для упругой и жидкой сред. Электрические переменные исключаются на элементном уровне и оказывают влияние на динамические характеристики конструкции в виде присоединенной жесткости. Достоверность полученных результатов подтверждена путем сопоставления с известными дан-

ными для случая изотропных оболочек. Представлены исследования границ устойчивости при различных геометрических размерах, вариантах кинематических граничных условий (свободное опирание и жесткая заделка на обоих краях, консольное закрепление) и разной величине кольцевого зазора между оболочками. Оценено влияние электрических граничных условий, задаваемых на электродированных поверхностях внутренней и наружной оболочек, на критические скорости потока жидкости и формы потери устойчивости.

19.05-01.346 Моделирование и анализ вынужденных колебаний паровой турбины мощностью 500 МВт. *Красников С.В. Автомобильный транспорт.* 2019, № 44, с. 81-86. Рус.

Проведено моделирование паротурбинной установки мощностью 500 МВт. Построены геометрические и расчетные модели. Проведены расчеты вынужденных колебаний. По результатам расчетов определены причины повышенных вибраций. Расчеты и моделирование выполнены методом конечных элементов.

19.05-01.347 Колебания двухслойной жидкости в баке с поперечной перегородкой. *Пожалостин А.А., Штанько А.В. Естественные и технические науки.* 2019, № 3, с. 19-22. Рус.

Получено точное решение краевой задачи гидроупругости о колебаниях двухслойной жидкости в баке с поперечной перегородкой. Приняты следующие допущения: колебания малые, движение однородной, несжимаемой жидкости потенциальное. Коэффициенты частотного уравнения — бесконечно быстро сходящиеся ряды.

19.05-01.348 Влияние частоты возбуждения и геометрии отверстия на течение жидкости и характеристики переноса тепла в синтетических струйных приводных механизмах (актуаторах). *Каюм А., Малик А. Известия РАН. Механика жидкости и газа.* 2019, № 4, с. 135-150. Рус.

Синтетическая струя является новым способом организации пульсационного нестационарного течения, которое переносит линейный импульс в окружающее пространство путем поглощения и выбрасывания жидкости из полости с колеблющейся диафрагмой и потенциально полезна для охлаждения электроники. В работе производится численный анализ, нацеленный на исследование влияния изменения геометрических параметров отверстия и частоты возбуждения на флюидику синтетической струи. Подвижная пьезоэлектрическая диафрагма моделируется граничным условием с постоянной амплитудой напряжения. Вычисления выполнены с использованием пакета COMSOL 5.3a Multiphysics. Настоящее исследование концентрируется на рассмотрении синтетических струй, образованных в одной цилиндрической полости, которая имеет отверстия разного типа, такие как одиночное (круглое) отверстие, три таких отверстия, одиночную прямоугольную щель, или три прямоугольных щели. Для одиночного круглого отверстия и одиночной прямоугольной щели площади выходного сечения были выбраны равными 7.0 мм^2 , тогда как для множественных круглых отверстий и прямоугольных щелей площади выходного сечения равнялись 21.0 мм^2 . Скорость синтетической струи достигает максимума, когда диафрагма возбуждается с оптимальной частотой. В случае синтетической струи с единственным круглым отверстием оптимальная частота почти такая же, как и в случае отверстия в виде одиночной прямоугольной щели; однако для множественных отверстий оптимальная частота ниже, чем для синтетической струи из единственного отверстия. Правильность результатов моделирования проверяется изучением их независимости от параметров сетки, временного шага и формы области и подтверждается имеющимися экспериментальными данными. Результаты моделирования, полученные в данном исследовании, замечательны тем, что они дают первичную точку отсчета для расчетов влияния частоты возбуждения и формы отверстия. Проведенное исследование показывает, что максимальное значение среднего коэффициента теплопередачи равно $86.5 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ для отверстия в виде одиночной прямоугольной щели, что на 21% больше по сравнению с одиночным круглым отверстием. Для отверстия в виде одиночной прямоугольной щели, когда отношение расстояний от отверстия до

нагревателя (Z/b) равно 80, значение коэффициента теплопередачи равно $112.5 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, что примерно на 20.3% больше по сравнению с одиночным круглым отверстием при $Z/d=14$, и тем самым приводит к лучшим эксплуатационным качествам.

19.05-01.349 Создание и верификация акустической модели ядерного реактора. Проскураков К.Н. Научно-технические технологии. 2019. 20, № 4, с. 62-69. Рус.

В связи с необходимостью учета обратных связей в программах нейтронно-физического, теплофизического и акустического расчета полномасштабных активных зон ядерных реакторов актуальна задача создания акустической модели реактора. Создание акустической модели ядерного реактора стало возможным благодаря применению двух фундаментальных результатов: формулы Томсона для расчета собственной частоты разряда конденсатора и обоснования наличия у ядерных реакторов акустических системных свойств. Целью работы являлось создание акустической модели реактора. Приведены результаты успешно проведенной на блоке № 3 Нововоронежской АЭС с реактором ВВЭР-440 верификации не имеющей аналогов акустической модели ядерного реактора. Показано, что число одновременно генерируемых акустических волн в модели соответствует числу акустических неоднородностей в соединенных с реактором трубопроводах. Автор сообщает, что применение модели позволит оптимизировать проектные и конструкторские решения путем создания оборудования, способного подавлять нежелательные циклические нагрузки.

19.05-01.350 Анализ резонанса и свободных колебаний лопатки газовой турбины. Нгуен Нгон Т., Капранов В.М. Научно-технич. ведомости Санкт-Петербургского гос. политехнич. ун-та. Естественные и инженерные науки. 2019. 25, № 2, с. 149-160. Рус.

В эксплуатации лопатки газовых турбин работают в широком интервале частот динамических нагрузок. Такие нагрузки со временем могут приводить к усталостным деформациям, микротрещинам, что изменяет динамические характеристики конструкции лопаток. лопатка является упругой конструкцией и имеет спектр собственных частот и форм колебаний. Они влияют на динамические свойства самой лопатки и её способность реагировать на различные воздействия. Работа заключается в изучении собственной частоты и формы колебаний лопаточных турбомашин и в совершенствовании методов численного прогнозирования динамического отклика лопаток под нагрузкой, что является актуальной задачей, так позволяет охарактеризовать зависимость собственных частот колебаний от режима работы и гарантированно избежать резонанса для проектируемых лопаточных венцов в реальных условиях эксплуатации.

19.05-01.351 Исследование влияния алгоритмов управления приводом остронаправленной антенны на его виброактивность на борту космического аппарата. Ермаков В.Ю. Вестник Московского авиац. ун-та. 2019. 26, № 2, <http://vestnikmai.ru/publications.php?ID=104897>. Рус.

Описан подход к определению влияния различных алгоритмов управления приводом остронаправленной антенны на его виброактивность и пути улучшения динамической обстановки на борту космического аппарата, представлены результаты наземных и летных испытаний.

19.05-01.352 Моделирование виброакустической динамики режущего инструмента цепнодолбежных деревообрабатывающих станков. Мотренко Д.В., Яицков И.А. Вестник Ростовского гос. ун-та путей сообщения. 2019, № 2, с. 37-43. Рус.

Приведены результаты теоретических исследований шума цепнодолбежных деревообрабатывающих станков. Получены аналитические зависимости уровней звукового давления, учитывающие технологические режимы обработки, физико-механические и геометрические породы различных сортов древесины.

19.05-01.353 Теоретические и экспериментальные исследования виброакустических систем с малым количеством элементов. Лелюга О.В. Вестник Томского гос. архитектурно-строительного ун-та. 2019. 21, № 3, с. 144-157. Рус.

Известные методы расчета конструкций здания не в полной мере учитывают структурную звукопередачу. Целью настоящей статьи являются теоретические исследования прохождения звука и вибрации на моделях здания методом статистического энергетического анализа с учетом нерезонансного прохождения и проверка данного метода экспериментально. На основе статистического энергетического анализа записаны уравнения энергетического баланса, решение системы которых позволяет определить энергию звука в помещениях и энергию звуковой вибрации в конструкциях. Приводится расчет коэффициентов энергетической связи, в том числе учитывающих нерезонансную звукопередачу из смежных акустических подсистем, внутренних потерь, плотности мод колебаний. Представлены результаты виброакустических расчетов и измерений на моделях фрагментов здания, включающих в себя одинарные и двойные перегородки. Использование разработанного метода расчета позволяет прогнозировать передачу звука через перегородку с учетом примыкающих конструкций.

См. также **19.05-01.67, 19.05-01.105, 19.05-01.248, 19.05-01.252, 19.05-01.257, 19.05-01.262, 19.05-01.263, 19.05-01.264, 19.05-01.273, 19.05-01.311, 19.05-01.312, 19.05-01.314, 19.05-01.322**

Поглотители слабых и интенсивных акустических волн

19.05-01.354 Разработка эффективных ЗПК для перспективных авиадвигателей требует как новых подходов, так и уточнения ряда математических моделей. Копьев В.Ф., Остриков Н.Н. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 107-109. Рус.

Звукопоглощающие конструкции (ЗПК), устанавливаемые в тракты ТРДД, являются важнейшим средством снижения шума вентиляторной ступени авиадвигателей. В последние годы существенно возросло число исследований, посвященным углубленному анализу математических моделей, используемых при разработке ЗПК. Общей причиной повышения актуальности проблематики стало дальнейшее ужесточение норм ИКАО по шуму на местности, которое требует повышения эффективности работы ЗПК, для чего, в частности, необходимо повысить степень подробности моделирования всех процессов при распространении звука в трактах авиадвигателя, а также моделей, описывающих зависимость импеданса сотовых ЗПК от геометрических размеров, уровня звукового давления и скорости скользящего потока. Во вводной части доклада представлена как ретроспектива этапов развития в ЦАГИ методов настройки ЗПК в каналах авиадвигателя, так и анализ результатов определения модального состава звукового поля в воздухозаборнике натурного двигателя. Испытания натурного двигателя, проведенные недавно на открытом стенде, продемонстрировали, что распределение звуковой энергии по модам в канале воздухозаборника без ЗПК соответствует на всех режимах работы двигателя теоретическим представлениям, закладываемым ЦАГИ в процедуру настройки ЗПК. При этом испытания двигателя с ЗПК показали, что ЗПК в наибольшей степени снижают амплитуду наиболее энергетически значимых звуковых мод, что и было целевой функцией настройки ЗПК. В то же время за последние два года получены результаты, которые показывают необходимость дальнейшего совершенствования методов настройки ЗПК. Испытания маломасштабной модели воздухозаборника в заглушенной камере АК-2 показали существенную зависимость диаграмм направленности излучения звука от скоростей всасывающего и спутного потоков, подтвердив, тем самым, необходимость учета эффекта различия излучения звука для статических и летных условий при настройке ЗПК в воздухозаборнике. При этом объяснение результатов этих испытаний оказалось возможным только при учете существенного различия эффективности излучения различных вращающихся мод из канала воздухозаборника в дальнее поле. Оказалось, что уровень звукового давления в дальнее поле определяется не звуковыми модами, которые сгенерированы в канале с

большой амплитудой, а модами, которые имеют высокую эффективность излучения в дальнее поле. Последние могут иметь в канале амплитуду на 15–20 дБ ниже амплитуды наиболее энергетической звуковой моды. Анализ результатов испытаний натурального двигателя без ЗПК в воздухозаборнике с этой точки зрения показал, что уровень звукового давления в дальнем поле определяется звуковыми модами, которые имеют в канале воздухозаборника амплитуду на 6–10 дБ ниже амплитуд наиболее энергетических звуковых мод. Обращено внимание на то, что механизм генерации таких мод достаточно трудно установить в эксперименте, а также такие моды можно неверно смоделировать численно. Поскольку ранее эффективность излучения мод из канала воздухозаборника напрямую не принималась во внимание при определении оптимального импеданса ЗПК, то существует потенциальная возможность снижения шума двигателя за счет перенастройки ЗПК на максимальное снижение шума в дальнем поле при учете звуковых мод, имеющих высокую эффективность излучения в дальнее поле, но относительно малую амплитуду внутри канала воздухозаборника. Сравнительные экспериментальные исследования волновой структуры звукового поля, проведенные на установке «Интерферометр с потоком» как в условиях лабораторной сборки данной установки, так и в условиях сборки установки в заглушенной камере АК-2, продемонстрировали важность учета эффекта неоднородности характеристик потока высокой скорости на структуру звукового поля в канале. Оказалось, что даже в самом простейшем из рассмотренных случаев (ЗПК отсутствуют, а в рабочей части канала реализованы твердые стенки) волновая структура звукового поля в канале при наличии потока не описывается ни одной из известных математических моделей, в том числе моделью распространения звука в однородном потоке. Кроме этого, испытания однослойной сотовой ЗПК показали, что применяемые полужемпирические модели импеданса ЗПК не в состоянии предсказать двоякое кратное снижение эффективности затухания звука в канале при скорости потока 150 м/с на частоте настройки, хотя при скорости потока 100 м/с, эффективность работы данной ЗПК соответствовала полужемпирической модели импеданса ЗПК. Поскольку до настоящего времени во всех отечественных работах в области разработки ЗПК для авиадвигателей, включая работы по определению модального состава звукового поля в каналах, применялась математическая модель распространения звука в однородном потоке, то полученные в исследовании результаты показывают необходимость разработки нового математического аппарата для описания распространения звука в каналах с неоднородным скользящим погоном, включая учет влияния как пограничного слоя в цилиндрических каналах, так и рассеяния звука на турбулентных пульсациях скорости основного потока. В том числе, необходимо уточнить полужемпирические модели импеданса ЗПК в части зависимости от скорости скользящего потока. Последнее требует разработки новых методов извлечения импеданса ЗПК на установке «Интерферометр с потоком», которые учитывают, как эффекты трехмерной неоднородности поля скорости в канале, так и наличие разрывов импеданса на стенках канала. Конструкции современных и перспективных ТРДД ставят новые задачи в области настройки ЗПК. Так, ранее наличие пилона, разделяющего поток в наружном контуре двигателя, не рассматривалось с точки зрения настройки ЗПК и возможности установки ЗПК на поверхности пилона. Кроме этого, для ТРДД стали применяться воздухозаборники с обечайкой асимметричной формы. Эта форма приводит к генерации новых азимутальных гармоник, и, тем самым, изменяет диаграмму направленности излучения. Каналы воздухозаборников двигателей для перспективных сверхзвуковых самолетов имеют переменную форму сечения: круглое сечение плавно трансформируется в прямоугольное сечение. Оптимизация ЗПК для таких каналов ранее не производилась, поскольку отсутствуют математические модели распространения звука в каналах с сечениями переменной формы. Таким образом, в настоящее время сложилась острая необходимость развития новых математических моделей в области технологии ЗПК для ТРДД. Такие модели могут быть реализованы с помощью численных или аналитических подходов. Безусловно, возможность создания аналитических моделей резко ограничена ввиду сложности задачи в целом, но именно эти подходы обычно позволяют находить эффекты, реализация которых приводит к увели-

чению эффективности работы ЗПК.

19.05-01.355 Проблемы разработки новых типов ЗПК. *Алексенцев А.А., Бурдаков Р.В., Степина Е.В., Синер А.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 125-126. Рус.

При разработке современных авиационных двигателей значительное внимание уделяется проблеме борьбы с шумом. Шум авиационного двигателя обладает выраженными узкополосными составляющими на частоте следования лопаток вентилятора и её гармониках. Для уменьшения интенсивности шума каналы двигателя облицовывают звукопоглощающими конструкциями (ЗПК). Широкое распространение среди ЗПК получил резонатор Гельмгольца в различных исполнениях: применение многослойных конструкций, использование проницаемого слоя и т.д. Акустические характеристики ЗПК можно описать комплексной величиной импеданса: отношением акустической скорости к давлению. Импеданс ЗПК подбирается таким образом, чтобы обеспечить заданную величину звукопоглощения. Для повышения экономичности современных авиационных двигателей для гражданской авиации, разработчики создают двигатели с большей степенью двухконтурности, что приводит к необходимости учитывать множество мод, распространяющихся по каналу. В настоящее время для проектирования более эффективных систем шумоглушения широко применяются установки «Канал с потоком». Установки позволяют получить экспериментальные данные для учёта изменения величины импеданса ЗПК в зависимости от скорости обтекающего потока и других внешних условий. Однако требуются модели, позволяющие использовать полученные значения импеданса для оценки поглощения звука в воздухозаборнике двигателя. Наряду с проблемой влияния внешних факторов на импеданс ЗПК существуют проблемы, связанные с соблюдением конструкционных ограничений. Современные двигатели в сравнении с прошлым поколением обладают меньшей частотой следования лопаток вентилятора, что приводит к необходимости увеличения общей высоты ЗПК. Так как величина общей высоты ЗПК ограничена, отдельно можно упомянуть проблему разработки ЗПК, настроенных на эффективное звукопоглощение в области низких частот. Все рассмотренные до этого конструкции относятся к локально реагирующим. Также существует большой класс нелокально реагирующих ЗПК, таких как ЗПК со складчатым наполнителем, трубчатые ЗПК. Среди этих конструкций могут существовать и такие, которые позволят существенно увеличить эффективность системы ЗПК двигателя. Требуется разработать высокоточные методы настройки нелокально реагирующих ЗПК.

19.05-01.356 Определение импеданса крупногабаритной ЗПК при генерации заданного азимутального модального состава шума, распространяющегося в канале модели полномасштабного воздухозаборника авиационного двигателя. *Корин И.А., Пальчиковский В.В., Павлоградский В.В., Берсенев Ю.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 131-132. Рус.

Одним из этапов в разработке звукопоглощающих конструкций (ЗПК) для авиационных двигателей (АД) является их испытание на соответствие импедансных характеристик проектным значениям. Данные исследования проводятся в интерферометрах, которые имеют, как правило, узкие каналы. В результате в интересующем диапазоне частот в канале распространяется преимущественно нулевая мода, что сильно отличается от модального состава шума, распространяющегося в натурном воздухозаборнике АД. Таким образом, актуальным является исследование акустических характеристик ЗПК для полномасштабного воздухозаборника АД в условиях генерации в канале вращающихся звуковых мод. Для проведения подобных исследований в Лаборатории механизмов генерации шума и модального анализа ПНИПУ создана установка, представляющая собой генератор звука, соединенный с полномасштабной моделью воздухозаборника АД. В корпус воздухозаборника

устанавливаются исследуемые панели ЗПК, звук генерируется 40 динамиками. Измерения акустического давления в канале установки диаметром 1.783 м выполняется 20 микрофонами, расположенными в линию в корпусе генератора звука (до секции ЗПК) и 26 микрофонами, установленными в линию в корпусе полномасштабной модели воздухозаборника (после секции ЗПК). Испытания крупногабаритной ЗПК проводились на центральных частотах третьоктавных полос в диапазоне 500–3150 Гц. Генерировались вращающиеся моды в диапазоне номеров 0–40. Для идентификации импедансных характеристик крупногабаритной ЗПК использовался метод эддукции на основе минимизации функционала невязки расчетных и экспериментальных значений акустических давлений на микрофонах, который был адаптирован под исследования на данной установке. Результаты извлеченного импеданса сравнивались с полученными экспериментально при измерениях крупногабаритной ЗПК портативным интерферометром с каналом диаметром 50 мм. Установлено, что для случая нулевой моды наблюдается качественное совпадение импедансных характеристик ЗПК. Для остальных случаев модального состава шума извлеченный импеданс отличается от полученного интерферометром как количественно, так и качественно.

19.05-01.357 Исследование влияния количества продольных швов в конструкции ЗПК на структуру звукового поля в канале крупномасштабной модели воздухозаборника, установленной в заглушенной камере ПНИПУ. *Копьев В.Ф., Остриков Н.Н., Яковец М.А., Пальчиковский В.В., Корин А.И., Берсенева Ю.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 133-134. Рус.

В заглушенной камере ПНИПУ проведены сравнительные испытания крупномасштабной модели воздухозаборника в условиях твердых стенок, однородных ЗПК и неоднородных ЗПК с одной, тремя и пятью накладками, обеспечивающими перекрытие полной длины окружности однородных ЗПК на величину соответственно 6, 18 и 30%, что создает относительную азимутальную неоднородность импеданса ЗПК эквидистантную указанным процентам. Для генерации звукового поля в канале воздухозаборника использовалась многоканальная решетка, состоящая из 126 микрофонов, установленных заподлицо стенок канала в зоне за ЗПК в направлении распространения звука, при этом 100 микрофонов образуют круговую решетку, а остальные — линейную. С помощью портативного интерферометра нормального падения выполнены измерения импеданса крупномасштабных ЗПК, предназначенных для проведения испытаний в составе крупномасштабной модели воздухозаборника в качестве однородных ЗПК, показавшие, что панели ЗПК очень однородны, т. е. нулевая мода абсолютно доминирует, а амплитуда ненулевых мод в диапазоне 1000–3200 Гц не превышает 6%. Показано, что особенности сборки однородных ЗПК (состоят из пяти панелей) и геометрии использования накладок для создания контролируемого неосесимметричного импеданса ЗПК приводят к доминированию азимутальных гармоник с номерами кратными ± 5 в разложении адмитанса ЗПК в ряд Фурье по азимутальному углу, причем амплитуды этих гармоник возрастают с увеличением числа применяемых накладок. Анализ результатов испытаний показал, что наибольший эффект появления в канале не генерируемых динамиками азимутальных мод с повышенным уровнем амплитуды (фактически амплитуды этих мод сравнимы с амплитудой доминирующей моды, генерируемой динамиками) реализуется для мод, азимутальные номера которых отличаются от номера генерируемой доминирующей моды на числа кратные ± 5 . Данный эффект находится полностью в согласии с предсказанием аналитической модели влияния азимутальной неоднородности ЗПК на распространение вращающихся мод в цилиндрическом канале.

19.05-01.358 Влияние конструктивных параметров

реактивного элемента комбинированного глушителя на акустическую эффективность. *Почкин Я.С., Халецкий Ю.Д. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 135-136. Рус.

Ранее на модельных стендах была выполнена экспериментальная оценка эффективности комбинированных глушителей шума вентилятора. Обычно акустическая облицовка устанавливается в воздухозаборнике и в наружном контуре за спрямляющим аппаратом. На режимах работы вентилятора, соответствующих частотам вращения в сертификационных точках, было получено, что комбинированный глушитель на 2–3 дБ больше снижает шум вентилятора, чем двухслойная сотовая облицовка той же длины. В представленной работе в условиях модельного стенда У-96Т ЦИАМ «канал с потоком» был проведен эксперимент по определению влияния основных параметров решетчатого элемента в составе комбинированного глушителя на его акустическую эффективность.

19.05-01.359 Звукопоглощающий материал-конструкция для снижения шума авиационных двигателей на местности. *Шульдебов Е.М., Краев И.Д., Петрова А.П. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 137-138. Рус.

С целью повышения эффективности систем шумоглушения двигательных установок воздушных судов и снижения массы звукопоглощающих конструкций во ФГУП «ВИАМ» был разработан звукопоглощающий материал-конструкция состоящий из стеклосотопласта марки ССП-1-8Т и звукопоглощающего элемента, пропитанного гидрофобизирующим составом, расположенным внутри каждой ячейки стеклосотопласта и закрепленного на определенной высоте. Материал-конструкция пришивается марка ВЗМК-1. Представлены схематичные изображения разработанного заполнителя. Доклад посвящен исследованию характеристик материала марки ВЗМК-1, в том числе на интерферометре, при уровнях шума до 150 дБ. Исследовалось изменение параметров пористой вставки и ее расположения на комплекс свойств материала, а так же изменение акустических характеристик при разных уровнях шума и входных перфорированных слоях. Сделан вывод о том, что применение материал-конструкции марки ВЗМК-1 может позволить снизить массу звукопоглощающих конструкций, за счет замены внутренних перфорированных слоев пористой вставкой, при этом расширив частотный диапазон эффективного звукопоглощения. Применение ВЗМК-1 дает возможность настройки акустических характеристик без изменения параметров звукопоглощающих конструкций, таких как процент перфорации, толщина перфорированного слоя и итоговая толщина конструкции, что в значительной мере расширяет возможности акустической настройки систем шумоглушения при доводке двигательных установок.

19.05-01.360 Исследование влияния параметров перфорации сотовых ЗПК на их акустическую эффективность. *Писарев П.В., Аношкин А.Н., Максимова К.А., Храмов И.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 144-145. Рус.

В настоящее время экология авиационного транспорта стала второй по актуальности проблемой, выделяемой Международной организацией гражданской авиации (ИКАО), уступая первое место только безопасности полетов. Одной из доминирующих составляющих вредного воздействия авиации на окружающую среду является шум на местности, создаваемый воздушными судами. Одним из наиболее эффективных способов снижения шума авиационных двигательных установок является включение в её состав звукопоглощающих конструкций (ЗПК). В процессе изготовления ЗПК возможно образование различных технологических неоднородностей или дефектов. Наиболее

распространенные дефекты — уменьшение или увеличение диаметра отверстий перфорации. Образование дефектов приводит к увеличению разброса акустических параметров при проведении испытаний. Это приводит к усложнению процесса обработки полученных данных испытаний, а также к недостоверности получаемых результатов. В рамках численных экспериментов осуществлялся расчет величины демпфирующего эффекта, производимого призматическими ячейками с диаметрами перфораций горловины 1.6—2.6 мм в диапазоне рабочих частот 500—3000 Гц. Исследования проводились при уровнях звукового давления 100 и 130 дБ. По результатам вычислительных экспериментов были получены зависимости коэффициента звукопоглощения от частоты, а также построены зависимости собственной частоты резонатора и коэффициента потери акустического давления от диаметра горловины. Выявлено, что при уровне звукового давления 100 дБ увеличение диаметра перфорации с 1.6 мм до 2.6 мм приводит к повышению собственной частоты резонатора на 36%. Максимальное значение коэффициента звукопоглощения наблюдается при значении диаметра 2.2 мм. При уменьшении диаметра от 2.2 мм до 1.6 мм происходит снижение коэффициента звукопоглощения на 21%. При увеличении диаметра перфорации с 2.2 мм до 2.6 мм также наблюдается снижение коэффициента звукопоглощения на 22%. Выявлено, что при уровне звукового давления 130 дБ увеличение диаметра перфорации с 1.6 мм до 2.6 мм приводит к повышению собственной частоты резонатора на 32%, а также к повышению коэффициента звукопоглощения на 52%. Максимальное значение коэффициента звукопоглощения наблюдается при значении диаметра перфорации 2.6 мм. Кроме того, анализ полученных результатов показал, что изменение диаметра горловины влияет на его широкополосность при обоих уровнях звукового давления. В рамках верификации разработанной математической модели проводится сравнение результатов численного моделирования и лабораторных испытаний, проведенных на интерферометре с нормальным падением волны при уровнях звукового давления 100 и 130 дБ. Образцы ЗПК были изготовлены методом 3D печати. Сравнительный анализ результатов численных расчетов с результатами лабораторных испытаний выявил, что максимальное расхождение наблюдается для расчетного варианта с диаметром 2.4 мм и составляет 3.5%, а также для диаметра 1.8 мм и составил 8% для уровня звукового давления 100 и 130 дБ соответственно.

19.05-01.361 О повышении точности измерений импеданса ЗПК на интерферометре нормального падения за счет увеличения числа микрофонов. *Ионов И.А., Ипатов М.С., Остриков Н.Н.* Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 146-147. Рус.

Метод двух микрофонов (другое название — метод передаточных функций) на данный момент является наиболее распространенным для измерения акустических характеристик звукопоглощающих конструкций (ЗПК) и регламентирован в стандарте ISO. В данном методе образец ЗПК закрепляется на жестком окончании импедансной трубы (интерферометр нормального падения звуковых волн), и из комплексных значений звукового давления, измеренного на двух микрофонах, находятся комплексные амплитуды падающей и отраженной волн в канале трубы, исходя из значения которых далее находятся акустические характеристики образца, включая импеданс. Поскольку измерения на микрофонах производятся с некоторыми систематическими погрешностями, например, возникающими из-за вибрации стенок импедансной трубы или из-за влияния высших звуковых мод в канале, то точное фиксирование восстановленного давления на измеренных значениях на двух опорных микрофонах может приводить к заметным отклонениям на других микрофонах, если такие установлены на поверхности канала интерферометра. Дополнительным ограничением стандартного метода двух микрофонов является частотный диапазон измерений, зависящий от расстояния между микрофонами. В работе предложено улучшение метода двух микрофонов, заключающееся в использовании дополнительных микрофонов в канале импедансной трубы. Представлены результаты измерений различных образцов с шестью установленными

ми в импедансной трубе микрофонами, причем один микрофон находится на достаточно отдаленном от остальных, что позволяет точно восстанавливать звуковое поле на низких частотах. Показано, что использование разработанного метода позволяет существенно повысить точность измерения импеданса образцов в диапазоне частот 200—5000 Гц.

19.05-01.362 Исследование на интерферометре нормального падения нового типа ЗПК с пониженной частотой настройки. *Ипатов М.С., Яковец М.А.* Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 148-149. Рус.

Тенденция мирового развития двигателестроения для пассажирских самолетов связана с повышением степени двухконтурности двигателя и понижением частоты вращения вентилятора. Хорошо известно, что понижение основной частоты настройки резонансной конструкции, предназначенной для снижения шума вентилятора, приводит к повышению, в некоторых случаях существенному, ее габаритов (толщины). В результате становится проблематичным использование таких конструкций в канале авиационного двигателя из-за их габаритов. В связи с этим весьма перспективным является создание резонансных конструкций с малой толщиной и в то же время настроенных на диапазон низких частот. Настоящая работа продолжает исследования А.Ф. Соболева, которые он выполнял в период 2009—2011 годов. В работе были спроектированы и исследованы звукопоглощающие конструкции, у которых для увеличения присоединенной массы предлагается использовать вместо маленьких отверстий достаточно длинные и широкие трубки-горла, направленные внутрь воздушной полости. Использование удлиненного горла позволяет создать значительную инерционную массу, что приводит к понижению частоты настройки в пределах 0.4—1 кГц при сохранении достаточно малой толщины конструкции. Присоединенная масса может также возрасти за счет влияния задней стенки и боковых стенок резонатора. Экспериментальные исследования были проведены на «Интерферометре высоких уровней» при нормальном падении звука. Уровень звукового давления в канале установки составлял 120 дБ, тип сигнала — белый шум. Извлечение импеданса выполнялось на основе многомикрофонного метода, позволяющего существенно повысить точность измерения импеданса образцов на низких частотах. Было проведено испытания более 10 различных образцов, которые различались между собой диаметрами отверстий и длиной трубок. Представлены примеры графиков действительной и мнимой частей импеданса соответственно.

19.05-01.363 Определение акустических характеристик образцов ЗПК на основе численного моделирования в трехмерной постановке. *Храмцов И.В., Кустов О.Ю., Пальчиковский В.В., Бульбович Р.В.* Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 150-151. Рус.

Акустические характеристики звукопоглощающей конструкции (ЗПК) прогнозируют на основе полуэмпирических моделей. Для проверки соответствия акустических характеристик проектировочным значениям проводят испытания образцов ЗПК на интерферометрах. Однако, каждый испытываемый образец должен иметь идеальные геометрические параметры, что сильно отражается на разбросе получаемых для образца ЗПК акустических характеристиках. Последние 20 лет активно исследуется вопрос определения более точных акустических характеристик образцов ЗПК с помощью численного моделирования. Во многих известных работах использовались только упрощенные формы образцов ЗПК в виде одного резонатора (в основном цилиндрической формы) с одним отверстием по центру, что существенным образом отличается от реальных конструкций резонансных ЗПК, используемых в авиационных двигателях. Ранее, авторами впервые было выполнено определение акустических характеристик однослойного образца реальной сотовой звукопоглощающей конструкции путем численного моделирования физических процессов в интерферометре с нор-

мальным падением волн. Численное моделирование выполнено на основе решения нестационарных уравнений Навье—Стокса с учетом сжимаемости в полной трехмерной постановке методом недоразрешенного прямого численного моделирования (DNS). В качестве акустического сигнала используется «белый шум» с суммарным уровнем звукового давления 130 дБ на входе в расчетную область. Для верификации расчетов проведены измерения образца в интерферометре с нормальным падением волн с диаметром канала 50 мм. По результатам верификации установлено, что импедансные характеристики, полученные на основе численного моделирования, имеют высокое качество согласования с экспериментом. Разработанная методика определения акустических характеристик образцов звукопоглощающих конструкций на основе прямого численного моделирования верифицирована на полномасштабных образцах для интерферометров с нормальным падением волн с разным сечением канала, имеющих геометрические характеристики, соответствующие реальным однослойным ЗПК авиационных двигателей. В дальнейшем данный подход может использоваться для предсказания акустических характеристик образцов резонансных ЗПК с более сложной геометрией.

19.05-01.364 Особенности звукопоглощающих конструкций с гофрированным заполнителем. *Молод М.В., Максименков В.И., Федосеев В.И. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 152–153. Рус.

Гофрированные панели находят широкое применение в конструкции летательных аппаратов. Чаще всего это панели фюзеляжа, крыла. В зарубежной авиационной технике гофрированные конструкции применяются в качестве звукопоглощающих панелей. Проведенные исследования показали, что по акустической эффективности они не уступают сотовым конструкциям, но проигрывают им по весовым параметрам. В тезисах статьи рассмотрен способ повышения акустической эффективности гофрированных панелей за счет применения специальной вставки. Проведены исследования гофрированных металлических панелей, состоящих из двух обшивок одна из которых перфорированная и гофрированного заполнителя, расположенного между ними. Гофрированный заполнитель с обшивками соединяется контактной сваркой. Проведены испытания гофрированных панелей. Основные материалы, применяемые для изготовления панелей Д16М, I2X18N10T, OT4-1. По механическим свойствам гофрированные панели отличаются от обычных конструкций с сотовым заполнителем высокой степенью жесткости при изгибе. В продольном направлении анизотропные свойства панелей с гофрированным заполнителем проявляются в большей степени, чем у слоистых панелей с сотовым заполнителем при эквивалентных конструктивных параметрах. Учитывая анизотропные свойства гофрированных панелей, рекомендуется использовать их в таких конструкциях, где наибольшие напряжения действуют в продольных направлениях. При механических испытаниях гофрированных панелей выявлено, что применяемая вставка не влияет на механические характеристики панели. Проведенные акустические испытания на установке канал с потоком показали на повышение эффективности новой конструкции гофрированной панели в 1,7 раза. Разработана технология изготовления гофрированной панели со вставкой. Дана оценка весовых параметров панели. Рассмотрены варианты применения нового типа гофрированных панелей в качестве звукопоглощающих конструкций.

19.05-01.365 Расчётно-экспериментальные исследования свойств многослойных звукопоглощающих материалов. *Зайцев К.И., Половнев А.Л., Пушкин С.Д. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 259–260. Рус.

Одним из направлений развития пилотируемой космонавтики является создание трансформируемых (надувных) модулей, которые выводятся на орбиту в компактном сложенном состоянии, а уже на месте развёртываются в полном размере. Примерами таких разработок являются проект TransHab (NASA), и пристыкованный к МКС в 2016 г. модуль BEAM (Bigelow

Aerospace). В РКК «Энергия» также ведутся работы по проектированию трансформируемых модулей, созданию и экспериментальной отработке многослойной трансформируемой гермооболочки. На участке выведения космического аппарата (КА) его конструкция, приборы и оборудование подвергаются воздействию акустического давления, обусловленного интенсивным акустическим излучением реактивных струй маршевых двигателей ракеты-носителя (РН). При старте и полете РН в плотных слоях атмосферы подавляющее большинство КА защищено от внешних воздействий головным обтекателем, который блокирует часть энергии внешнего акустического поля, снижая амплитуды акустического давления на внешнюю поверхность КА. Это справедливо и для трансформируемых обитаемых космических модулей (ТОКМ). Акустическое поле внутри герметичных отсеков КА определяется звукоизолирующими свойствами его оболочки. Металлическая оболочка стандартных КА обладает значительной звукоизоляцией. Для прогноза характеристик акустических воздействий на бортовое оборудование ТОКМ и анализа их соответствия действующим условиям эксплуатации необходимо определить звукоизолирующие свойства многослойной трансформируемой гермооболочки модуля (МТГО). Кроме того, в процессе штатной эксплуатации модуля, важно учитывать шум от его бортового оборудования, особенно для обитаемых отсеков. Существующие санитарные нормы шумовых воздействий на экипаж пилотируемых космических аппаратов для обеспечения комфортной работы космонавтов. Для расчётов таких воздействий важно знать коэффициент звукопоглощения внутренней поверхности МТГО. Для определения звукоизоляции и коэффициента звукопоглощения проводились испытания фрагментов оболочки в импедансной трубе методом двух нагрузок (различное окончание на торце трубы). В импедансной трубе дополнительно получены собственные характеристики отдельных материалов, такие как характеристический импеданс, комплексные значения скорости распространения звуковых волн и эффективной плотности материала, которые использовались для численного моделирования импедансной трубы в программном комплексе Virtual.Lab. Коэффициент звукопоглощения и поверхностный импеданс отдельных слоёв МТГО определялись также с помощью специализированного инструмента «MicroFlow», который позволяет измерять одновременно акустическое давление и скорость колебания частиц в непосредственной близости от поверхности образца. Данные испытания также были смоделированы в Virtual.Lab. Одной из целей исследования являлось определение влияния геометрических параметров испытательной установки и исследуемого образца. В работе представлены полученные в экспериментах и расчётах результаты, которые достаточно хорошо согласуются между собой.

19.05-01.366 Композитные вибропоглощающие конструкции. *Ярцев В.А. Труды Крыловского государственного научного центра.* 2019, № 2, с. 55–68. Рус.

Объект и цель научной работы. Объектом исследования являются отечественные и зарубежные литературные источники, посвященные исследованию вопроса создания вибропоглощающих конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Основное внимание уделяется работам, выполненным специалистами ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (КГНЦ) в 2000–2018 гг. Материалы и методы. Анализ информации, содержащейся в литературных источниках с 1980 по 2018 г. Основные результаты. Обобщены достижения специалистов КГНЦ в области создания основанных на использовании универсальных практических CAE-методов прогнозирования диссипативно-жесткостных характеристик и прочности композитных вибропоглощающих конструкций. Приведено описание метода определения диссипативных характеристик волокнистых ПКМ. Изложены основные требования к «жестким» и «мягким» полимерным композициям. Дано описание ряда композитных вибропоглощающих конструкций: сборочно-монтажных единиц, платформы, промежуточной опорной рамы. Заключение. В 2000–2018 гг. специалистами КГНЦ разработан замкнутый расчетно-экспериментальный метод прогнозирования диссипативно-жесткостных характеристик и прочности вибропоглощающих конструкций из ПКМ.

19.05-01.367 Определение акустических характери-

стик полномасштабного образца реальной однослойной сотовой звукопоглощающей конструкции на основе численного моделирования. *Кустов О.Ю., Храмов И.В. Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. 2018, № 1, с. 180-184. Рус.*

Впервые проведено определение акустических характеристик однослойного образца реальной сотовой звукопоглощающей конструкции (диаметр образца 30 мм, глубина сот 20 мм, толщина пластины перфорации 2 мм, степень перфорации 8%, диаметр отверстий 2 мм) путем численного моделирования физических процессов в интерферометре с нормальным падением волн. Численное моделирование выполнено на основе решения нестационарных уравнений Навье—Стокса с учетом сжимаемости в полной трехмерной постановке. Отмечено высокое согласование акустических характеристик образца ЗПК, полученных в численном моделировании и в эксперименте. Показано, что проведение численного моделирования только на одной ячейке ЗПК также дает результаты, хорошо соответствующие эксперименту, что позволяет в дальнейшем применить данный подход для предсказания акустических характеристик образцов резонансных ЗПК с более сложной геометрией.

19.05-01.368 Влияние типа отверстий в звукопоглощающих конструкциях на шумоглушение. *Макаров В.Ф., Модорский В.Я., Койнов И.И., Хроликос Д.Н. Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. 2018, № 1, с. 198-201. Рус.*

Рассмотрена идея использования в однослойной ЗПК отверстий с резьбой. Описана методика численного моделирования влияния шероховатости отверстий в ячейках однослойной ЗПК на шумопоглощение с использованием программного пакета AnsysCFX. Представлены результаты исследования на различных частотах в горле резонатора панелей из композиционного материала марки ВКУ-39 и выводы по эффекту использования полученных отверстий.

19.05-01.369 Разработка новых высокоэффективных средств вибродемпфирования судовых конструкций. *Кирпичников В.Ю., Савенко В.В., Смольников В.Ю., Шлемов Ю.Ф. Труды Крыловского государственного научного центра. 2019, № 1, с. 167-174. Рус.*

Объект и цель научной работы. Приведены краткие сведения о физической сути и эффективности разработанных средств уменьшения уровней повышенной вибрации судовых конструкций. Материалы и методы. Использованы результаты измерений уровней вибрации моделей судовых конструкций при отсутствии и наличии средств вибродемпфирования. Основные результаты. Определены условия достижения повышенной эффективности новых средств вибродемпфирования. Заключение. Разработанные средства с повышенной эффективностью имеют малую массу в сравнении с массой демпфируемой конструкции и применяемых средств вибродемпфирования.

19.05-01.370 Композитные вибропоглощающие конструкции. *Ярцев В.А. Труды Крыловского государственного научного центра. 2019, № 2, с. 55-68. Рус.*

Объект и цель научной работы. Объектом исследования являются отечественные и зарубежные литературные источники, посвященные исследованию вопроса создания вибропоглощающих конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Основное внимание уделяется работам, выполненным специалистами ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (КГНЦ) в 2000—2018 гг. Материалы и методы. Анализ информации, содержащейся в литературных источниках с 1980 по 2018 гг. Основные результаты. Обобщены достижения специалистов КГНЦ в области создания основанных на использовании универсальных практических САЕ-методов прогнозирования диссипативно-жесткостных характеристик и прочности композитных вибропоглощающих конструкций. Приведено описание метода определения диссипативных характеристик волокнистых ПКМ. Изложены основные требования к «жестким» и «мягким» полимерным композициям. Дано описание ряда композитных вибропоглощающих конструкций: сборочно-монтажных единиц, платформы, промежуточной опорной рамы. Заключение. В 2000—2018 гг. специалистами КГНЦ разработан замкнутый расчетно-экспериментальный метод прогно-

зирования диссипативно-жесткостных характеристик и прочности вибропоглощающих конструкций из ПКМ.

См. также 19.05-01.147

Шумоизоляция

19.05-01.371 Исследования экранирования шума вращающихся азимутальных мод, излучаемых из открытого цилиндрического канала воздухозаборника. *Денисов С.Л., Ипатов М.С., Остриков Н.Н., Яковец М.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 65-66. Рус.*

Проведены расчетно-экспериментальные исследования экранирования шума различных азимутальных мод, излучаемых из открытого цилиндрического канала модели воздухозаборника. Экспериментальные исследования экранирования азимутальных мод проводилось в акустической камере АК-2. Генерация заданных азимутальных мод на различных частотах производилась с помощью настройки динамиков, установленных в корпусе модели воздухозаборника. Работа проводилась в два этапа: на первом этапе производилась настройка динамиков на генерацию азимутальных мод с помощью микрофонной решетки, а на втором этапе устанавливалась экранирующая пластина, и выполнялось исследование экранирования сгенерированных азимутальных мод с помощью микрофонов, установленных в дальнем поле. В качестве экрана использовалась прямоугольная композитная пластина, перемещение которой осуществлялось с помощью координатного устройства. Расчет звукового поля, излучаемого из канала воздухозаборника, проводился на основе точного решения, а вычисление эффективности экранирования осуществлялось с помощью Геометрической Теории Дифракции (ГТД), адаптированной к задачам экранирования некомпактных источников авиационного шума (обсуждение точности расчетов, выполняемых с помощью ГТД при экранировании источников шума экранами произвольной формы, представлено в работе Денисов С.Л., Королюков А.И. Исследование экранирования шума с помощью метода последовательностей максимальной длины в приложении к задачам авиационной акустики // Акустический журнал 2017. Т. 63. №4. С. 1-17). Полученные результаты позволяют сделать вывод, что эффективность экранирования существенно зависит как от положения экрана относительно передней кромки воздухозаборника, так и от частоты и номера возбуждаемой азимутальной моды.

19.05-01.372 Исследование экранирования шума турбулентной струи на основе адаптированной корреляционной теории. *Копьев В.Ф., Чернышев С.А., Фараносов Г.А., Остриков Н.Н., Денисов С.Л. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 67-68. Рус.*

Настоящая работа является этапом в разработке модели источников шума струи, позволяющей проводить быстрые и эффективные оценки характеристик акустического излучения турбулентных струй в ходе работ по снижению шума. Корреляционная модель источников звука была разработана применительно к звуковому полю турбулентной дроссельной струи и валидирована на основе экспериментальных данных, полученных методом азимутального разложения шума струи. Преимуществом этой модели является то, что она позволяет предсказывать не только спектральную плотность шума, но и фазовые характеристики звукового поля, что необходимо для оценки шума взаимодействия струй с элементами летательного аппарата. В работе проводится развитие корреляционной теории источников звука для случая, когда вблизи струи находится экранирующая поверхность. Моделируется ближнее акустическое поле струи при наличии экранирующей поверхности с целью ее дальнейшей валидации и последующего применения к задаче оценки эффективности экранирования шума струи элементами планера. Результаты данной работы дополняют методы и

подходы, использовавшиеся при расчете эффективности шума, излучаемого волнами неустойчивости. Расчет эффективности экранирования шума струи был выполнен с помощью Геометрической Теории Дифракции (ГТД), основные положения которой применительно к расчету экранирования шума некомпактных источников разработаны в [Ostrikov N.N., Denisov S.L. Airframe Shielding of Noncompact Aviation Noise Sources: Theory and Experiment // AIAA Paper 2015 — 2691, June 2015]. Экспериментальная валидация метода ГТД, выполненная с помощью метода последовательностей максимальной длины в работе [Денисов С.Л., Корольков А.И. Исследование экранирования шума с помощью метода последовательностей максимальной длины в приложении к задачам авиационной акустики // Акустический журнал 2017. Т. 63. № 4. С. 1-17], продемонстрировала не только высокую точность расчета звукового поля в зоне геометрической тени, но и показала применимость ГТД к исследованию дифракции звука, излучаемого некомпактными источниками, на плоских прямоугольных и полигональных экранах.

19.05-01.373 Исследование нелинейного поведения звукоизоляции элементов обшивки. Попов П.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 255-256. Рус.

В результате лётно-конструкторских испытаний ракеты-носителя (РН) «Союз», отмечено, что в различные моменты времени старта или полёта РН звукоизоляционные характеристики её отсеков различны, что может объясняться изменением направленности внешних акустических волн и газодинамическими характеристиками снаружи и внутри отсеков, а также нелинейным поведением звукоизоляции при различных режимах эксплуатации. Поэтому одной из целей проведения акустических испытаний элементов обшивки сборочно-защитного блока (СЗБ) для космического модуля (КМ) на базе ПАО «РКК «Энергия» было исследование нелинейного поведения звукоизоляционных характеристик для дальнейшего использования этих данных при оценке акустического нагружения, действующего на КМ. Испытаниям были подвергнуты три сегмента различных отсеков СЗБ: головного отсека (ГО), опорного отсека (ОпО) и переходного отсека (ПхО). Публикуются результаты проведенных испытаний изменения звукоизоляционной способности панелей ГО и ОпО на частотах 25, 63 и 500 Гц и минимальные уровни акустического давления для отсеков СЗБ.

19.05-01.374 Расчётно-экспериментальная оценка звукоизоляции сборочно-защитного блока для космического модуля. Попов П.А., Кузнецов А.В. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 265-267. Рус.

При адаптации космического модуля (КМ) с ракетой-носителем (РН), его разработчиком были сформированы требования по акустическим нагрузкам, которые должна обеспечить конструкция сборочно-защитного блока (СЗБ). Для удовлетворения данным требованиям возникла необходимость: в оценке звукоизоляции элементов конструкции СЗБ в акустической камере; в разработке конечно-элементных моделей (КЭМ) оснастки с экспериментальными панелями и составных частей (СЧ) СЗБ с расположенными внутри него СЧ КМ в среде Ansys; в получении коэффициентов для пересчёта экспериментальных результатов. Описывается процесс решения задачи.

19.05-01.375 Исследование шумопоглощающих экранов на основе резонаторов гельмгольца в лабораторной акустической камере. Балашова А.А., Гуськов П.М., Шеронова Т.С. Методы и устройства передачи и обработки информации. 2017, № 19, с. 22-27. Рус.

Снижение уровня акустического шума на городских улицах, это важная проблема в условиях современного урбанизированного пространства. В работе представлены некоторые результаты исследования акустического шумопоглощающего экрана на основе резонатора Гельмгольца. Экран позволяет изменять

величину целевых зазоров и глубину резонатора. Проанализированы результаты полученных экспериментальных данных. Измерения проведены в лабораторной акустической камере.

19.05-01.376 Выбор уровня звукового давления в лабораторной акустической камере при исследовании характеристик шумозащитных экранов. Гуськов П.М. Методы и устройства передачи и обработки информации. 2017, № 19, с. 28-31. Рус.

Представлено описание малогабаритной лабораторной заглушённой камеры для исследования средств защиты от акустических излучений. Приведены результаты исследования АЧХ камеры при различных уровнях излучаемой мощности акустического сигнала. Даны рекомендации по выбору уровня звукового давления, оптимального для исследования характеристик шумозащитных экранов, предназначенных для применения в условиях городской среды.

См. также 19.05-01.313

Активные методы подавления шума

19.05-01.377 Разработка и реализация системы активного подавления волн неустойчивости в невозбужденной турбулентной струе. Бычков О.П., Копьев В.А., Копьев В.Ф., Фараносов Г.А., Казанский П.Н., Моралев И.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 167-168. Рус.

Работа продолжает предыдущие исследования авторов в области активного управления волнами неустойчивости в слое смещения струи. В целом, стратегия управления была сформулирована в работе И.В. Беляев, М.Ю. Зайцев, В.А. Копьев, В.Ф. Копьев, Г.А. Фараносов Акустическое управление волнами неустойчивости в турбулентной струе. Акустический журнал. 2013. Т.59. №1. С.19-30, где была показана ее принципиальная осуществимость. Стратегия состоит в узкополосной скользкой фильтрации исходного сигнала и формировании соответствующего узкополосного управляющего воздействия. Предполагается, что справедлив линейный принцип наложения сигналов, т.е. что если управляющее воздействие генерирует волны неустойчивости в противофазе по отношению к естественным волнам, развивающимся в слое смещения струи, и с той же амплитудой, то суммарный сигнал будет уменьшаться. Система управления реализована на основе модуля LCARD E14-440D. Сигнал обрабатывается в реальном времени процессором модуля. Код драйвера модуля модифицируется так, чтобы обеспечить цифровую фильтрацию сигнала с микрофонов, коррекцию фазовых и амплитудных искажений. Обработанный сигнал поступает на выход через ЦАП и далее используется для модуляции питающего напряжения на плазменном актуаторе. Приводится принципиальная схема системы управления. Для генерации волн неустойчивости использовался актуатор высокочастотного диэлектрического барьерного разряда с кольцевым электродом, установленным на внутренней поверхности сопла. Это позволяло генерировать практически осесимметричное управляющее воздействие. Сигнал на систему управления подавался с пары микрофонов ближнего поля, позволяющей выделять симметричную компоненту пульсаций. В ближнем поле были установлены также дополнительные микрофоны для исследования пространственной структуры отклика струи на управление.

19.05-01.378 Отработка концепции активного управления шумом взаимодействия струи и крыла с помощью плазменных актуаторов. Бычков О.П., Копьев В.А., Копьев В.Ф., Фараносов Г.А., Казанский П.Н., Моралев И.А. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 169-170. Рус.

Расположение крыла вблизи реактивной струи делает дифракцию пульсаций ближнего поля струи на его задней кром-

ке эффективным источником звука. Пульсации ближнего поля, в свою очередь, определяются волновыми пакетами, развивающимися в слое смещения струи за счет неустойчивости Кельвина—Гельмгольца. Следовательно, для струи вблизи крыла уменьшение интенсивности волновых пакетов должно привести к снижению шума в дальнем поле. Причем данный источник шума проявляется, в том числе, и для низкоскоростных струй, для которых прямое излучение шума волнами неустойчивости (без пластины) является слабым. В работе рассматривается возможность снижения шума взаимодействия струи и крыла с помощью плазменного актуатора высокочастотного диэлектрического барьерного разряда в составе системы управления с обратной связью. Первоначально эффект снижения шума взаимодействия демонстрируется для струи (скорость истечения 180 м/с), возбужденной с помощью динамика. Эффект управления для этого случая показан на рисунке в виде диаграмм направленности шума на частоте возбуждения. В зависимости от сдвига фаз между возбуждением и управляющим воздействием, подобранными по амплитуде, шум исходя от возбужденной струи можно усилить на величину около 6 дБ или ослабить на величину порядка 10 дБ. Этот результат подтверждает концепцию снижения шума взаимодействия. Показана также возможность снижения шума взаимодействия для невозбужденной струи. Система управления реализована на основе модуля LCARD E14-440D и аналогична той, что использовалась для свободной струи.

19.05-01.379 Активное гашение интенсивных периодических сигналов в воздуховоде. *Пудовкин А.А., Кузнецов Г.Н., Кутаков С.И., Суварцов А.А., Кешков Д.И., Китанов М.Ю., Майзель А.Б., Смагин Д.А.* Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 178–179. Рус.

Пассивные поглотители звука ослабляют возмущения на низких частотах не эффективно, как следствие, в этом частотном диапазоне используются активные методы гашения. В воздуховоде гасящее поле вводится одним или несколькими электродинамиками, расположенными в сечении воздуховода на его цилиндрической поверхности. Наиболее эффективны методы с предсказывающей обратной связью, в которых производится наблюдение возмущения в сечении воздуховода ниже по потоку сечения расположения электродинамик. Наблюдение формируется усреднением по нескольким микрофонам, расположенным на внутренней поверхности воздуховода, что уменьшает влияние помех, обусловленных турбулентным обтеканием микрофонов воздушным потоком. Для настройки контроллера гашения используется наблюдение возмущения в сечении воздуховода выше по потоку от зоны электродинамик. Задача контроллера состоит в расчете электрического сигнала, подаваемого на электродинамику активного гашения по сигналу, зарегистрированному ниже по потоку от сечения расположения электродинамик. Контроллер синтезировался по результатам идентификации передаточных характеристик первичного пути от микрофонов в сечении ниже по потоку до микрофонов в сечении выше по потоку, и вторичного пути от электродинамик гашения до микрофонов выше по потоку. Идентифицированные передаточные характеристики формируют модель физического воздуховода, которая строилась, как внутренняя модель — в переменных состояния, т.е. в виде системы разностных уравнений первого порядка. При синтезе использовался алгоритм с внутренней моделью гасимого возмущения, для чего задавались частоты, на которых присутствовало возмущение. По ним строилась модель гасимого сигнала — также в переменных состояния. По модели воздуховода строился фильтр Калмана для оценки состояний модели воздуховода в текущий момент времени. Фактически находился вектор усиления в цепи обратной связи фильтра Калмана. Для этого решалось дискретное алгебраическое матричное уравнение Рикатти, параметры которого определялись параметрами идентифицированной модели физического воздуховода. Синтез контроллера проводился методом линейной квадратичной гауссовой (ЛКГ) оптимизации — фактически определялся вектор обратной связи ЛКГ контроллера. Для этого решалось упомянутое дискретное матричное уравнение Рикатти, параметры которого определялись

параметрами внутренней модели гасимого возмущения. В физическом эксперименте использовались: цилиндрический воздуховод диаметром 150 мм, четыре 5-ти дюймовых динамика гашения типа В 1622.8, но 6 микрофонов типа ЕСМ-10 в двух сечениях наблюдения сигналов. Контроллер реализован в устройстве на основе процессора TigerSHARC ADSP-TS101S фирмы Analog Devices, частота дискретизации 6872 Гц (изготовитель ЗАО «Инструментальные системы»). Приведены результаты эксперимента.

19.05-01.380 Активное управление акустическим резонансом в дозвуковой полости потока. Active control of acoustic resonance in a subsonic cavity flow. *Wang Xiansheng, Wu Junqiang, Lu Bo, Yang Dangguo, Zhou Fangqi.* Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 182. Англ.

The cavity-type flow often occurs in aeronautic engineering applications. When air flows over a cavity in high speed, flow-induced oscillations usually dominate the flow field, accompanied by strong aerodynamic noise and acoustic resonance, which always bring about adverse effects on flight safety. An active control method based on the leading edge jet is proposed to suppress the flow-induced oscillations. The leading-edge jet is generated with a large blowing rate by guiding the incoming flow into a channel in front of the cavity. The control method is validated using high-speed wind tunnel experiments. The Mach number of the incoming flow is 0.6–0.9 and the cavity length-depth ratio is 6. The unsteady dynamic pressure measurement provides a way to study the characteristics of the cavity flow-induced oscillation and aeroacoustic loads. The results show that the strongest pressure fluctuation appears near the trailing-edge of the cavity, and the overall sound pressure level can be up to 176 dB. When the upstream injection is formed, the pressure fluctuations inside the cavity can be significantly suppressed not only in the broadband noise but also the cavity tones. The overall sound pressure level in the cavity can be reduced by up to 8 dB. Owing to no need of additional air supply to form high-speed upstream injection, the active control method can effectively suppress the subsonic cavity flow-induced oscillation, and the method provides a potential candidate strategy to control the cavity flow and acoustic resonance in the cavity-type engineering applications.

19.05-01.381 Экспериментальное определение звукоизоляции натуральных панелей самолета МС-21. *Зверев А.Я., Лесных Т.О., Паранин Г.В.* Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 243–244. Рус.

В реверберационных камерах акустического стенда АК-11 проведены экспериментальные исследования по определению звукоизоляции двух цилиндрических панелей увеличенного размера, моделирующих бортовую конструкцию фюзеляжа самолета МС-21. Испытания проведены с потолочной панелью, облицованной различным набором теплозвукоизолирующих материалов и с оконной панелью, облицованной различным набором ТЗИ и панелью интерьера. Испытания панелей по определению их звукоизоляции проводились с применением двух методов. Для определения суммарной звукоизоляции использовался стандартный реверберационный метод. Для оценки звукоизоляции различных зон панели был использован интегросимметрический метод. В результате испытаний определена звукоизоляция потолочной панели без ТЗИ, а также с одним и двумя слоями облицовки матами «Микролайт». Проведено сравнение с результатами, полученными ранее на плоской панели. Определены эффекты увеличения звукоизоляции панели при различных вариантах ее облицовки по сравнению со звукоизоляцией голой панели. Установлено, что применение матов «Микролайт» в качестве ТЗИ становится эффективным на частотах выше 200 Гц. В диапазоне частот 200–315 Гц эффективность покрытия не превышает 2–4 дБ в зависимости от толщины слоя. С повышением частоты эффективность облицовки увеличивается и достигает 41 дБ в полосе 8 кГц при двухслойном покрытии панели. Определена звукоизоляция оконной па-

нели без облицовки, с облицовкой одним и двумя слоями матов «Микролайт», двумя слоями матов и панелью интерьера. Проведено сравнение звукоизоляции оконной и потолочной панелей. Показано, что звукоизоляция двух разных панелей с одним слоем ТЗИ примерно одинакова. Звукоизоляция оконной панели с двумя слоями ТЗИ на частотах, превышающих 1 кГц, меньше звукоизоляции потолочной панели из-за пониженной изоляции окон. Получены оценки собственной звукоизоляции окон. С применением интенсиметрического метода дана оценка звукоизоляции различных зон панели с установленным интерьером. Определена область с пониженной звукоизоляцией панели интерьера и даны рекомендации по ее увеличению.

19.05-01.382 Эффективность применения систем активного гашения колебаний судовых конструкций. Белов В.Д., Гладиллин А.В., Смагин Д.А., Петров А.А., Маслов В.Л. *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2019, № 2, с. 150-158. Рус.

Объект и цель научной работы. Экспериментальное исследование эффективности применения систем активного гашения (САГ) колебаний судовых конструкций. Материалы и методы. Испытания систем активного виброгашения на макетах, имитирующих судовое оборудование. Измерения параметров виброакустических полей при выключенной и включенной САГ. Эффективность активных средств оценивалась по уменьшению среднеквадратичных значений вибрации фундаментной конструкции. Основные результаты. Испытания САГ показали высокую эффективность снижения вибраций, возбуждаемых периодическими силами и передающихся на судовые конструкции через опорные связи. Эффективность 4-канальной САГ составила не менее 18 дБ. Эффективность 6-канальной САГ,

направленной на снижение периодической вибрации, распространяющейся от движителя через валопровод на фундаментные конструкции, составила ~10 дБ. Заключение. Показана перспективная возможность эффективного применения активных средств виброгашения для снижения вибрации, создаваемой оборудованием и механизмами и распространяющейся через опорные связи по судовым конструкциям.

19.05-01.383 Численное моделирование гашения колебаний распределенной системы с помощью пьезоэлементов. Федотов А.В. *Научно-технич. ведомости Санкт-Петербургского гос. политехнич. ун-та. Физ.-мат. н.* 2019. 12, № 1, с. 142-155. Рус.

Продолжение работ автора, в которых рассматривалась задача об управлении вынужденными изгибными колебаниями металлической балки с помощью пьезоэлектрических сенсоров и актуаторов. При этом все результаты управления были получены экспериментально. Однако для того, чтобы процесс проектирования систем управления был наиболее эффективным, необходима разработка численной модели, позволяющей получать результаты для разных вариантов таких систем, что и является задачей данной работы. В исследовании численно на основе конечно-элементной модели объекта воспроизводятся основные экспериментальные результаты, а также проектируются более эффективные модальные системы управления, приводящие к большему снижению амплитуды резонансных колебаний балки, по сравнению с системами, рассмотренными ранее в эксперименте. Ключевые слова: управление колебаниями, мехатроника, модальное управление, пьезоэлемент, конечно-элементная модель.

Акустика помещений; Музыкальная акустика

Акустика концертных залов

19.05-01.384 Анализ характера распространения звуковых волн в актовом зале Муромского института ВлГУ. Туманов М.А., Хромулина Т.Д., Булкин В.В. *Методы и устройства передачи и обработки информации*. 2018, № 20, с. 43-48. Рус.

Представлены результаты анализа характера распространения звука в условиях актового зала Муромского института ВлГУ. Представлены амплитудно-частотные характеристики, полученные по результатам измерений в характерных точках зала. Измерения проводились с использованием шумомера АС-СИСТЕНТ в линейном режиме. Для получения более полной характеристики оценка уровня звукового давления осуществлялась в третьоктавных диапазонах. Анализировалось изменение АЧХ в каждой из точек в сравнении с реальной АЧХ акустических систем, установленных в зале, также полученных с использованием шумомера. Наибольшие потери уровня звукового давления, как и ожидалось, наблюдаются в диапазоне 12500–20000 Гц — от 23 до 38 дБ, на частоте 12500 Гц потери могут составлять 30 дБ. Зафиксированные АЧХ отличаются значительной «изломанностью». Рекомендовано для создания более равномерного распределения звуковой энергии приме-

нять дополнительные среднечастотные и высокочастотные акустические системы, размещаемые, например, на боковых стенах зала вдоль длинных стен.

Акустика пассажирских кабин

19.05-01.385 Возможности стандартных КЭ пакетов для расчета виброакустических свойств салонов ЛА. Жарников Т.В. *Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 268. Рус.

Показано, что стандартные конечно-элементные пакеты могут быть применены для расчета шума в салоне летательных аппаратов. Их возможности иллюстрируются на примере расчета акустического поля внутри оболочки, возбуждаемого ее обтеканием потоком газа. Расчет включает в себя вычисление зависящего от времени поля нагрузок от обтекания, вибрационного отклика оболочки и порождаемого им акустического поля внутри нее.

См. также **19.05-01.272, 19.05-01.338, 19.05-01.339**

Обработка акустических сигналов; Компьютерное моделирование

Компьютерная обработка результатов эксперимента

См. **19.05-01.167**

Численное решение обратных задач

См. **19.05-01.281**

Акустическая голография и томография

19.05-01.386 Вычислительные технологии программного комплекса DiMP-Hydro для моделирования микротечений. Балашов В.А., Савенков Е.Б., Четверушкин Б.Н. *Мат. моделир.* 2019. 31, № 7, с. 21-44. Рус.

Настоящая работа посвящена описанию программного комплекса DiMP-Hydro, разрабатываемого в ИПМ им. М.В. Кел-

дыша РАН. Его назначение состоит в моделировании микротечений однофазных и двухфазных вязких сжимаемых жидкостей с различной реологией в пространственных областях, геометрия которых имеет воксельное представление. Такие геометрические модели являются актуальными ввиду развития и широкого применения методов компьютерной микротомографии. Одной из основных областей приложения данного программного комплекса является расчет микротечений в поровых пространствах образцов горных пород для определения их макроскопических свойств (например, коэффициентов абсолютной проницаемости) и особенностей процессов вытеснения на микроуровне, что составляет одну из задач технологии «цифровой керн». Приведено описание используемых математических моделей, численных алгоритмов и непосредственно программного комплекса. Для описания динамики жидкости используются уравнения Навье—Стокса (в однофазном случае) и Навье—Стокса—Кана—Хилларда (в двухфазном случае), регуляризованные согласно квазигидродинамическому подходу, который является физически обоснованным и позволяет применять сравнительно простые в реализации явные устойчивые численные алгоритмы. Программный комплекс является параллельным и ориентирован на использование высокопроизводительных вычислительных систем. Представлены результаты применения DiMPHydro для моделирования микротечений жидкости (в том числе двухфазной) и газа (в том числе умеренно-разреженного) в поровом пространстве образцов горных пород.

19.05-01.387 Обратные задачи интерпретации экспериментальных данных 3D ультразвуковой томографии исследований. *Гончарский А.В., Кубышкин В.А., Романов С.Ю., Серёжников С.Ю. Вычисл. методы и программир.* 2019. 20, № 3, с. 254-269. Рус.

Обратная задача 3D ультразвуковой томографии рассматривается в статье как нелинейная коэффициентная обратная задача для уравнения гиперболического типа. Используемая математическая модель хорошо описывает как дифракционные эффекты, так и поглощение ультразвука в неоднородной среде. В рассматриваемой постановке реконструируется скорость распространения акустической волны как функция трех координат. Количество неизвестных в нелинейной обратной задаче составляет порядка 50 миллионов. Разработанные итерационные алгоритмы решения обратной задачи ориентированы на использование GPU-кластеров. Основным результатом работы является апробация алгоритмов на экспериментальных данных. В эксперименте использовался стенд для 3D ультразвуковых томографических исследований, разработанный в МГУ имени М.В. Ломоносова. Акустические параметры фантомов близки к акустическим параметрам мягких тканей человека. Объем экспериментальных данных составляет порядка 3 ГБ. Интерпретация данных эксперимента позволила не только продемонстрировать эффективность разработанных алгоритмов, но и подтвердила адекватность математической модели реальности. Для реализации разработанных численных алгоритмов использовался графический кластер суперкомпьютера

"Ломоносов-2".

19.05-01.388 Обратные задачи ультразвуковой томографии в неразрушающем контроле: математические методы и эксперимент. *Вазулин Е.Г., Гончарский А.В., Романов С.Ю., Серёжников С.Ю. Дефектоскопия.* 2019, № 6, с. 30-39. Рус.

Статья посвящена разработке ультразвуковых томографических методов в неразрушающем контроле. Обратная задача реконструкции скоростного разреза рассматривается как нелинейная коэффициентная обратная задача для скалярного волнового уравнения. Разработаны эффективные итерационные методы ее решения на суперкомпьютере, использующие прямые формулы для вычисления градиента функционала невязки между рассчитанным и экспериментально измеренным волновым полем на детекторах. Эффективность алгоритмов апробирована на экспериментальных данных. Проведены первые эксперименты на специально изготовленных твердотельных образцах с простейшим расположением включения при регистрации сигналов стандартными ультразвуковыми антенными решетками на частоте 5 МГц. Показано, что с помощью разработанных томографических методов в схеме на отражение и прохождение в реальном эксперименте можно не только обнаружить границы отражателей, но и определить скоростной разрез внутри отражателей.

19.05-01.389 Применение алгоритма расчета в частотной области для ультразвуковой томографии слоистой неоднородных сред с использованием матричных антенных решеток. *Долматов Д.О., Седнев Д.А., Булавин А.Н., Пинчук Р.В. Дефектоскопия.* 2019, № 7, с. 12-19. Рус.

Для обеспечения высокой скорости получения синтезированных изображений с использованием матричных антенных решеток (АР) в системах промышленной ультразвуковой томографии требуются вычислительно-эффективные алгоритмы пространственно-временной обработки. В этой связи большой интерес представляют алгоритмы с расчетами в частотной области, основанные на алгоритме быстрого преобразования Фурье. При этом разрабатываемые алгоритмы должны обеспечивать высокое качество получаемых результатов при различных условиях проведения ультразвуковой томографии. В случае ультразвуковой томографии многослойных структур одним из факторов, серьезно снижающих эффективность алгоритма, является непараллельность, а в предельном случае криволинейность границ слоев объекта контроля относительно плоскости сканирования. В данной статье предложен алгоритм расчета трехмерных томографических изображений в частотной области с использованием матричных фазированных решеток с компенсацией наклона объекта контроля относительно плоскости сканирования при использовании иммерсионного контакта. Эффективность предложенного метода подтверждается экспериментально.

См. также **19.05-01.14К**, **19.05-01.179**

Акустика живых систем; Биологическая акустика

Действие акустических колебаний на биологические среды и живые организмы

19.05-01.390 К оценке риска профессионального заболевания органов слуха отдельных категорий работников энергетических предприятий. *Медведев В.Т., Федорова Е.В., Боровкова А.М. Вестн. МЭИ.* 2019, № 3, с. 134-141. Рус.

Электроэнергетика относится к видам деятельности, в которых высок риск травматизма и профессиональных заболеваний, поскольку труд энергетиков сопряжен с высоким напряжением, работой на высоте, воздействием вредных и опасных производственных факторов. Поэтому определение рисков и профессиональных заболеваний с целью их минимизации является

одной из важнейших задач. Следует учитывать, что формирование условий для профессиональных заболеваний, как правило, происходит в результате сложной комбинации многих факторов. В структуре профессиональной заболеваемости преобладают потери слуха от воздействия шума и вибрационная болезнь, хотя их показатели в электроэнергетике значительно ниже общероссийских. Наиболее проблемными профессиями по данной патологии являются слесари по ремонту оборудования котельной, операторы котельной, слесари по ремонту парогазотурбинного оборудования, водители и трактористы. Установлено, что нарушения слуха связаны с возрастом, полом (чаще наблюдаются у мужчин), курением и характеристиками шума. Воздействие повышенных уровней шума приводит к формированию не только сердечно-сосудистой, но и эндокринной патологии, а также может быть фактором риска развития геста-

ционной гипертензии и врожденных пороков развития плода. Приведен расчет риска профессионального заболевания органов слуха от негативного влияния шума при его увеличении, вследствие старения оборудования или нарушения технологических режимов, а также от использования средств индивидуальной защиты. Для работников шумных производств и профессий энергетической отрасли рекомендован комплекс профилактических мероприятий.

19.05-01.391 Анализ развития радиочастотного и акустического оружия за рубежом. Яремчук С.Д., Ганченко П.В. Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2019, № 5-6, с. 96-104. Рус.

Рассмотрены современные зарубежные военно-технические разработки в области волновых видов оружия, к которым в настоящее время относятся радиочастотное и акустическое оружие. Показаны принципиальные технические возможности скрытного использования технических средств сотовой и спутниковой связи для поражения войск и населения. На основе анализа эффектов энергетического, информационно-физического и психофизиологического восприятия электромагнитных излучений и акустических колебаний организмом человека определены принципы поражения человека волновыми поражающими факторами. Обоснована необходимость разработки технологии обнаружения и контроля применения волновых видов оружия в Вооруженных Силах Российской Федерации.

См. также **19.05-01.323**

Применение ультразвука, физические основы акустических методов и приборов для биологии и медицины

19.05-01.392 Система сбора и обработки данных о функциях и состоянии человека. Шжелев Е.И., Кузьмин В.Г., Орлов И.Я., Лупов С.Ю., Алексеев С.В. Вестник Нижегородского ун-та. 2004, № 1, с. 47-54. Рус.

Рассмотрены измерительная аппаратура, устройства обработки/управления и программы, предназначенные для функциональной диагностики состояния человека. Диагностические сигналы поступают по двум направлениям: в микропроцессорную (МП) систему ввода-вывода-обработки (ВВО) в составе управляющей ЭВМ и в крайтовую систему, обладающую теми же функциями, что и первая, и связанную с ЭВМ по сетевому интерфейсу. Обработка сигналов ведется в два этапа: на первом — с помощью цифровых процессоров сигналов (ЦПС) в составе МП-систем ВВО, на заключительном — с использованием ресурсов управляющей ЭВМ. Перенос вычислительной нагрузки на ЦПС позволил выполнять процедуры обработки и анализа поступающих данных в масштабе реального времени. Представлены результаты тестовых испытаний с использованием электрокардиографических и акустических измерений в области сердца. Испытания проводились на факультете физической культуры и спорта Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского.

19.05-01.393 Опытный образец прибора "спектральный анализатор биоакустической активности головы человека". Шабанов Г.А., Рыбченко А.А., Лебедев Ю.А., Припатинская Е.А., Смоленский Е.В., Короченцев В.И., Крыжановский С.П., Фейгин С.А., Мищенко В.В., Журавель Г.М. Науч. приборостр. 2019, 29, № 1, с. 82-86. Рус.

Для изучения спектра глобальной биоэлектрической активности неспецифической системы мозга разработан медицинский прибор под названием "Спектральный анализатор биоакустической активности головы человека". Изготовлен опытный образец. Был предложен способ регистрации суммарного акустического поля головного мозга человека с помощью индукционного датчика. Рассмотрено устройство индукционных датчиков, особенности узкополосного спектрального анализа и новая система частотных координат - матрица "множества функциональных состояний или "висцером". Прибор может быть использован для оценки адаптационных возможностей организма

при взаимодействия с агрессивными факторами внешней среды, функционально-топической диагностики внутренних органов.

Речеобразование и восприятие речи

19.05-01.394 Использование фильтра Винера для подавления помех в речевом сигнале. Никитин О.Р., Левин Е.К., Лабзина Е.А. Методы и устройства передачи и обработки информации. 2018, № 20, с. 21-27. Рус.

Рассматривалась задача шумоподавления с помощью фильтра Винера, который обеспечивает наилучшую по критерию минимума среднеквадратичную ошибку фильтрации полезного сигнала. Как известно, оптимальным подходом к осуществлению поставленной задачи является «метод прямого решения» или DD-метод (decision-directed approach), направленный на уменьшение уровня музыкального шума. Однако, здесь проявляется нежелательный эффект реверберации (процесс постепенного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях), который обуславливается тем, что фильтр Винера относится к предыдущему фрейму, в то время как корректируется текущий. Чтобы этого избежать, применяется двухэтапный алгоритм определения частотной характеристики TSNR (two-step noise reduction), который имеет свои недостатки: проявление гармонических искажений в речевом сигнале, обусловленных маленькой величиной оценки отношения С/Ш; непрямая задача определения оценки спектральной плотности мощности шума. Наилучшие параметры достигаются методом гармонической генерации HRNR (harmonic regeneration noise reduction), с помощью которого осуществляется уточнение отношения С/Ш. Результатом данной работы является определение МЧКК чистого и пораженного помехой сигнала, максимального значения относительной разности МЧКК с помощью указанных методов и анализ полученных экспериментальных данных.

19.05-01.395 Метод адаптации психоакустической модели к вейвлет-области на основе матрицы квантования. The method of psychoacoustic model adaptation to wavelet domain based on quantization matrix. Rogozinsky G.G., Fadeyev D.R., Fadeyev A.A., Smirnov A.V., Ivanova Yu.I. 2019. 13, № 4, с. 64-69. Англ.

The paper presents the authors' recent research in adaptation of the psychoacoustic model of ISO MPEG AAC to the Discrete Wavelet Packet algorithm of lossy audio coding. Wavelet Transform-based digital audio compression possesses several advances in the context of compact representation of transients and non-harmonic components. Meanwhile, one of the well-known issues of application of wavelets for the audio compression is poor accuracy of existing psychoacoustic models obtained for wavelet domain. The authors discovered the complex distribution of wavelet coefficients quantization noise across the spectrum due to significant cross-band aliasing between wavelet decomposition tree subbands. The authors also obtained the wavelet quantization noise function related to the analysis bands of MPEG AAC Psychoacoustic Model. The described approach provided the method of quantization matrix calculation, which is useful for exact estimation of masking threshold during lossy wavelet coefficients coding. The obtained results allow increasing the accuracy of existing compression models based on wavelet transform, therefore gaining the efficiency of digital audio compression with reviewed transforms. Ключевые слова: цифровая компрессия звука с потерями, вейвлеты, квантование, психоакустическая модель.

19.05-01.396 Моделирование выбора позиций индивидами при информационном противоборстве с двухкомпонентной повесткой. Петров А.П., Прончева О.Г. Мат. моделир. 2019. 31, № 7, с. 91-108. Рус.

Статья посвящена разработке и анализу модели выбора позиций индивидами при информационном противоборстве по двум темам. Рассматривается общество, в котором конкурируют две партии, занимающие по этим темам противоположные позиции. Противоборство состоит в том, что в каждой из этих тем каждая из партий распространяет свои информационные потоки через аффилированные средства массовой информации. Индивиды воспринимают эти потоки, становятся сторонниками

той или иной партии по каждому из вопросов и агитируют других индивидов в соответствии со своими политическими предпочтениями. Относительная значимость тем определяется на основе теории установления повестки дня. Именно, дебатированная тема считается тем более значимой, чем выше суммарная интенсивность вещания обеих партий по этой теме. Математическая модель построена в двух вариантах. Один из них предполагает межличностные коммуникации однородно распределенными по социуму; для него рассматривается вопрос о том, как параметры системы влияют на устойчивость решений. Второй вариант предполагает, что в социуме имеются две группы (этнические общины, социальные классы и т.д.), члены каждой из которых больше коммуницируют друг с другом, чем с другой группой. Для этого варианта рассмотрена простейшая теоретико-игровая постановка: каждая из партий распределяет доступное ей медийное вещание на две темы, стремясь максимизировать превосходство в количестве сторонников над другой партией в конце противоборства.

19.05-01.397 Формирование коллектива решающих правил многокритериальным эволюционным алгоритмом в задаче анализа эмоций человека по аудиоданным. Полякова А.С., Липинский Л.В. *Вестн. МГТУ. Сер. Приборостр.* 2019, № 4, с. 45-61. Рус.

Одной из важнейших задач современного этапа информатизации общества является развитие систем человеко-машинного интерфейса, в том числе систем автоматизированного распознавания эмоций человека. Эмоции человека выражены в виде комбинации двух показателей: Valence — направленность эмоции (отрицательные или положительные) и Arousal — выраженность эмоции (степень возбужденности). Эти показатели представлены вещественными числами. Для точности прогнозирования предложено использовать методы коллективного вывода. Точность коллективного решения оценена коэффициентом корреляции согласованности. Агенты (алгоритмы) в коллектив отобраны с помощью многокритериального эволюционного алгоритма. Применение многокритериального эволюционного алгоритма дало возможность автоматизировать процесс формирования коллектива, что позволило снизить затраты временных и материальных ресурсов. Коллектив построен на основе двух критериев: максимизации точности и минимизации числа агентов в коллективе. Для принятия решения коллективом применены такие способы, как простое голосование, взвешенное среднее, взвешенное среднее с учетом степени доверия к агенту, а также система на основе нечеткой логики. Для повышения эффективности решения задачи интеллек-

туального анализа данных предложена модификация системы на основе нечеткой логики. Проведены анализ и исследование эффективности многокритериального эволюционного алгоритма при решении задачи прогнозирования эмоционального поведения человека. Экспериментально выявлено, что применение многокритериального эволюционного алгоритма для автоматизированного формирования состава коллектива приводит к более точному решению задачи.

19.05-01.398 Исследование потенциальных возможностей восстановления аудиоинформации из видеозаписи без звуковой дорожки. Лыков Ю.В., Преснякова А.Д., Лыкова А.А. *Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника.* 2019, 62, № 6, с. 366-376. Рус.

Проведен анализ возможности появления канала утечки акустической информации, посредством анализа видеопотока на видеозаписи. Исследованы возможности восстановления речи при очень низком качестве записи, определяемом отношением сигнал—шум (ОСП), частотой дискретизации, количеством уровней квантования, и уровнем клиппирования, с учетом особенностей исследуемого канала утечки. В результате определены необходимая частота кадров видеозображения, минимальное ОСП, количество уровней квантования, и достаточный динамический диапазон смещения колеблющегося объекта. Также исследованы требования к параметрам канала утечки и возможные пути повышения его качества злоумышленником. Рассчитаны требования к смещению колеблющегося под действием акустических волн объекта на видеозаписи. Обоснованы потенциальные возможности уменьшения требований к смещению объекта, путем применения усреднения большого числа различных точек на объекте. Проведена оценка существующего программного обеспечения шумочистки звукозаписей для повышения разборчивости перехваченного сообщения злоумышленником в рассмотренном канале утечки информации. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что существуют потенциальные предпосылки утечки акустической информации путем анализа видеопотока на видеозаписи. Условия возникновения такого канала не являются чрезмерно жесткими, поэтому нельзя пренебрегать возможностью его появления и необходимо предусматривать превентивные меры по его предотвращению/разрушению на объекте информационной деятельности.

Акустика эхолоцирующих животных

См. 19.05-01.166, 19.05-01.169, 19.05-01.204

Физические основы технической акустики

Устройства для генерации, репродукции, приема акустических сигналов

19.05-01.399 Исследование влияния импульсных характеристик электроакустических преобразователей на качество звуковоспроизведения. Кулебакин А.И. *Труды Крыловского государственного научного центра.* 2019, № 20193, с. 272-276. Рус.

Приведены результаты исследования влияния импульсных характеристик громкоговорителя на качество звуковоспроизведения. Проведенные сравнительные испытания акустических систем, идентичных по частотным характеристикам, на базе громкоговорителей с различными ИХ позволили выявить прямую корреляцию между индексами артикуляционной разборчивости и импульсных характеристик электроакустических преобразователей (ЭАП), что, в свою очередь, показывает необходимость разработки методики оценки качества звуковоспроизведения ЭАП на основе его импульсных характеристик.

19.05-01.400 Метод акустической эмиссии в системе контроля технического состояния с учётом оценки факторов риска. Эльманович В.И., Елизаров С.В. *В мире неразрушающего контроля.* 2019, 22, № 2, с. 7-12. Рус.

Рассматриваются основные принципы системы Risk Based Inspection (RBI), а также анализируются возможности применения метода акустической эмиссии (АЭ) в системе RBI. Возможности риск-ориентированного подхода иллюстрируются примерами диагностики опасного промышленного оборудования.

См. также 19.05-01.198, 19.05-01.398

Акустические измерения и аппаратура

19.05-01.401 Исследование технологий испытаний в аэродинамической трубе шума планера гражданского реактивного воздушного судна. Wind tunnel test technologies investigation of civil transport airframe/jet noise installation. Chen Bao, Bao Anyu, Zhou Guocheng. *Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научнотехнической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 77-79. Англ.

Airframe/jet installation noise is one of the main noise sources of civil aircraft. In order to reduce the noise of civil aircraft and acquire the overall noise characteristics of civil aircraft, it is necessary to acquire the sound pressure level, frequency spectrum

characteristics of the airframe/jet installation noise and the effect rules of the relative position in the wind tunnel. In order to study the mechanism and characteristics of airframe/jet installation noise in aeroacoustic wind tunnel, the experimental method of airframe/jet installation noise in 0.5m aeroacoustic wind tunnel of AVIC ARI is studied in this paper. The nozzle noise simulation setup, wing support device and directivity measurement array are designed, and the experiment system is formed. The nozzle simulation setup can be installed with variable diameter nozzle, the position of the wing can be changed in the direction of axis and height. The diameter of the microphone phase array is 1m, the number of microphones is 63, the distance from the nozzle center is 1.2m, the radius of the directivity arc is 1.8m, the directivity angle is 45—135 degrees and 225—315 degrees respectively with the interval 9 degrees between microphones. Microphones are equipped with windproof balls. Secondly, the NACA0012 wing with 127mm chord length and the nozzle with the diameter $D = 25.4\text{mm}$ are tested in 0.5m aeroacoustic wind tunnel. The noise characteristics of airframe/jet installation effect were studied experimentally. The jet Mach number was 0.9, the free flow Mach number was 0.2, and the height and axial relative position ranges were $0.5D$ and $1.0D$, respectively. The experiment data were obtained. Finally, based on the experiment data, the influence of the relative position of airframe and jet on the noise was analyzed and discussed. The results show that the existence of wing makes the azimuth angle 90 degree point noise. Acoustic pressure level increases to 5 dB, the change of relative position in the axis has little effect on directivity, and the noise pressure level increases when the wing is close to the nozzle in the height direction.

19.05-01.402 Фоновые пульсации статического давления в перфорированной и щелевой рабочих частях трансзвуковой аэродинамической трубы Т-128. Глазков С.А., Горбушин А.Р., Семенов А.В., Столяров Е.П. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 87-88. Рус.

Определены оптимальные параметры подвижных элементов рабочих частей Т-128, которые обеспечивают минимальный уровень пульсаций статического давления.

19.05-01.403 Экспериментальное подтверждение существенной зависимости волновой структуры звукового поля от профиля скорости на установке «Интерферометр с потоком» на основе сравнительных измерений в лабораторных условиях и в условиях заглушенной камеры АК-2. Яковец М.А., Ипатов М.С., Остриков Н.Н. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 110-112. Рус.

Проведены сравнительные экспериментальные исследования волновой структуры звукового поля напротив твердой стенки и трех различных образцов сотовых однослойных ЗПК на установке «Интерферометр с потоком» как в условиях лабораторной сборки данной установки, так и в условиях сборки установки в заглушенной камере АК-2. В стандартной лабораторной конфигурации максимальная скорость потока в канале установки составляет 95 м/с , а в условиях сборки в заглушенной камере АК-2 можно реализовать любую дозвуковую скорость потока. В работе проведены измерения профилей средней и пульсационной компонент скорости в различных сечениях канала установки с помощью трубки Пито и термоанемометрического метода как при наличии ЗПК в рабочей части установки, так и в условиях твердых стенок канала. Представлен пример сравнения безразмерных профилей скорости среднего потока в одном и том же сечении канала, но в различных конфигурациях установки. Таким образом, использование двух указанных сборок одной и той же установки позволяет исследовать эффект неоднородности характеристик потока высокой скорости на структуру звукового поля вблизи ЗПК. Показано, что при наличии твердой стенки в рабочей части установки (ЗПК отсутствуют) и при наличии потока (в условиях заглушенной каме-

ры АК-2 скорость потока варьировалась до 150 м/с) волновая структура звукового поля на рабочих частотах не соответствует теоретическому случаю распространения звука в однородном потоке. Показано, что использование модели распространения звука в однородном потоке для обработки экспериментальных данных приводит к необходимости снижения эффективной скорости потока на величину $10\text{—}20\text{ м/с}$ при максимальной скорости потока в канале 100 м/с и на величину более 60 м/с при максимальной скорости потока в канале 150 м/с в зависимости от частоты распространения звука, однако при этом определяемые из эксперимента осевые волновые числа не соответствуют теоретическому предсказанию. Показано, что при одной и той же скорости потока 100 м/с в условиях различной сборки установки определяются различные осевые волновые числа. Анализ данных особенностей показывает, что на волновую структуру звукового поля в канале достаточно сильное влияние оказывает профиль скорости в канале. Результаты испытаний цельного однослойного сотового образца ЗПК при различных скоростях потока показали, что при скорости 150 м/с на частоте настройки 1600 Гц происходит вдвое кратное снижение эффективности затухания звука, не предсказываемое применяемой в настоящее время полуэмпирической модели импеданса ЗПК: мнимая часть осевого волнового числа снижается в два раза, что означает снижение эффективности затухания в два раза, исчисляемое в децибелах (это очень сильный эффект). Данное обстоятельство означает, что настройка ЗПК на максимальное затухание звука на указанной частоте изменились. В то же время при отсутствии потока относительное отклонение реальных частей расчетных и экспериментальных волновых чисел не превышает 7% , а относительное отклонение мнимых частей — 5% , а при появлении потока в канале со скоростью $V = 100\text{ м/с}$ расчетное значение реальной части волнового числа оказывается в два раза меньше экспериментально обнаруженного числа, и мнимая часть расчетного волнового числа сильнее отклоняется от соответствующего экспериментального числа, но при этом проявляет ту же тенденцию к возрастанию, как и в эксперименте. Другими словами, полуэмпирическая модель ухватывает тенденцию к росту эффективности работы ЗПК на частоте настройки при увеличении скорости потока до $V = 100\text{ м/с}$, но преуменьшает саму эффективность. По результатам работы сделан вывод о том, что имеющиеся к настоящему времени методы определения акустических характеристик ЗПК при наличии потока не точны и могут давать существенную ошибку при их использовании.

19.05-01.404 Валидация точного решения задачи о скачке импеданса на основе экспериментального исследования на установке «Интерферометр с потоком». Яковец М.А., Остриков Н.Н., Ипатов М.С. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 115-116. Рус.

Работа посвящена экспериментальному исследованию особенностей распространения звука в канале установки «Интерферометр с потоком» ЦАГИ, в ходе которого проведено сравнение экспериментальных значений коэффициентов отражения и прохождения на скачках импеданса и теоретических, вычисленных согласно работе А.Ф. Соболев, М.А. Яковец Применение метода Винера—Хопфа для описания распространения звука в цилиндрическом и прямоугольном каналах с потоком при наличии скачка импеданса // Акустический журнал. 2017. Т. 63. № 6. С. 583-595.

19.05-01.405 Разработка трехмерного метода конечных элементов для извлечения импеданса ЗПК на установке «Интерферометр с потоком» с учетом произвольного профиля скорости потока. Денисов С.Л., Яковец М.А., Остриков Н.Н. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 119-120. Рус.

Представлены результаты разработки трехмерного метода конечных элементов для описания распространения звука в прямоугольном канале с произвольным трехмерным плоскопарал-

лельным потоком при наличии анизотропной ЗПК, расположенной вдоль одной из стенок канала.

19.05-01.406 Исследование на установке «Интерферометр с потоком» сотовых ЗПК с продуваемыми вставками. *Ипатов М.С., Яковец М.А., Остриков Н.Н., Лавружина М.П., Ионов И.А., Шульдецов Е.М. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 139. Рус.

В 2000-е годы в ЦАГИ был проведен комплекс исследований многослойных звукопоглощающих конструкций (ЗПК), у которых наряду или вместо перфорированных листов используются микропористые продуваемые слои. Проведенные на установке АК-13 сравнительные испытания различных таких конструкций, в том числе, изучались ЗПК гомогенного типа, показали значительную эффективность работы в широкой полосе частот. По результатам исследований на интерферометре нормального падения были построены полумпирические модели импеданса ЗПК с продуваемыми вставками из различных материалов. С другой стороны, недавно ВИАМ разработал новый звукопоглощающий материал-конструкция (ЗМК), с интегрированной в стеклосотопласт вставкой из пористого материала, пропитанной гидрофобизирующим составом, сочетающий резонансный и диссипативный вид поглощения акустических волн. При этом был разработан принцип регулирования акустических характеристик ЗМК в зависимости от параметров пористой вставки (например, концентрации гидрофобизирующего состава) и толщин воздушных полостей. В работе на установке «Интерферометр с потоком» проведены исследования импеданса сотовых ЗПК с продуваемыми вставками ЗМК, изготовленных ВИАМ, при различных скоростях потока до 100 м/с.

19.05-01.407 Исследование на установке «Интерферометр с потоком» нелокально реагирующих гофрированных ЗПК с различной степенью перфорации. *Ипатов М.С., Яковец М.А., Остриков Н.Н. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 154. Рус.

Продолжение исследования звукопоглощающих конструкций (ЗПК) с гофрированными заполнителем, у которых в качестве микропористых поглощающих структур используются металлические сетки полотняного и саржевого плетения. Для повышения эффективности и равномерности затухания в рассматриваемых конструкциях дополнительно в качестве внутренних слоев используется волокнистый продуваемый материал с температурой эксплуатации до 1000°С. Предшествующие исследования этих ЗПК на установке АК-13 продемонстрировали эффективность их работы в широкой полосе частот. Исследования тестовых конструкций были проведены на установке «Интерферометр с потоком» ЦАГИ, которая позволяет измерять импеданс ЗПК, при наличии скользящего потока вдоль поверхности образца до 100 м/с. Уровень звукового давления полезного сигнала составлял 140 дБ. Новым обстоятельством по отношению к предшествующим исследованиям стало использование в качестве входного слоя ЗПК перфорированных металлических пластин. По результатам исследований были получены экспериментальные данные для извлечения импеданса рассмотренных ЗПК с различными процентами перфорации входного слоя. Данные ЗПК относятся к классу нелокально реагирующих конструкций, и поэтому их импеданс зависит не только от частоты звука, но и от продольного волнового числа звукового поля в окрестности поверхности конструкции. Поскольку прямоугольном канале установки «Интерферометр с потоком» в рабочем диапазоне частот реализуется распространение только одной звуковой моды, то измерить в полной мере импеданс таких конструкций как функцию частоты и волнового числа не удастся. Тем не менее, данные по импедансу этих конструкций, полученные в указанных условиях представляют интерес для дальнейшего анализа.

19.05-01.408 Применение метода двунаправленного СВИП-сигнала для оценки акустических характери-

стик камеры АК-2. *Вишняков А.Н., Макашов С.Ю. Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22–27 сентября 2019 г.)* М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019, с. 161-163. Рус.

Основным критерием, определяющим пригодность помещения для измерений уровней звукового давления, определения диаграммы направленности источника шума и спектрального состава излучаемого звука, является обратноквадратичная зависимость уровня квадрата звукового давления от расстояния до источника. Данный критерий установлен в Приложении А ГОСТ 31273 2003 (ИСО 3745:2003). Характер спада уровня звукового давления с расстоянием обычно оценивают, перемещая микрофон или используя многоканальные измерения. Измерения являются достаточно длительными, особенно при использовании чистых тонов. Результаты, как правило, используются при аттестации заглушенных камер. Однако при проведении прецизионных измерений необходимо учитывать не только акустические свойства помещения, но и влияние различного технологического оборудования, например, державок, микрофонных стоек. Наличие отражений и уровень отраженного сигнала можно оценить, например, с использованием так называемого MLS-метода. Однако данный метод, хотя и позволяет определить наиболее значительные источники отраженного сигнала и выбрать оптимальные точки установки микрофонов, не дает оценки величины искажения звукового поля. С целью определения влияния микрофонных державок на точность акустических измерений была рассмотрена задача об отражении волны, порожденной точечным источником, от абсолютно твердого цилиндра и проведены экспериментальные исследования с использованием, как широкополосного сигнала — дозвуковой струи, так и тональных сигналов с использованием устройства сжатия динамического диапазона, широко применявшееся ранее в аппаратуре $B\ddot{r}\ddot{u}el\&Kj\ddot{a}e\ddot{r}$. Регистрация уровней звукового давления при непрерывном изменении частот сигнала позволила оценить искажения уровней звукового давления при использовании различных вариантов установки микрофона. Для обеспечения проводимых в НИО-9 работ по метрологическому обеспечению измерений в ООО "Экофизика" была разработана специализированная система измерения амплитудно-фазовых характеристик звукового поля. При создании данной системы использовались всенаправленный источник звука OED-SP-012-600 и усилитель OED-PA-300 с дистанционным управлением, хорошо зарекомендовавшие себя в ходе работ по оценке возможности акустических измерений в помещении АДТ Т-104. Кроме того, был разработан специализированный низкочастотный источник звука. В данной системе используется специальный алгоритм, позволяющий определять амплитуду и фазу сигнала с очень высокой точностью. При измерениях в условиях, отличных от условий свободного звукового поля, интерференция прямого и отраженного сигналов приводит к наличию осцилляций амплитуды сигнала. Причем при измерениях в широких полосах частот этот эффект может быть незаметен, поскольку происходит перераспределение энергии колебаний в пределах полосы анализа. Однако при измерениях в узких полосах (сравнимых с периодом осцилляций) уровни звукового давления при перемещении микрофона от точки к точке могут отличаться достаточно сильно. Измерения в заглушенной камере АК-2 проводились при различном взаимном положении источника звука и микрофона, а также при различных вариантах установленного технологического оборудования. Были получены результаты, показывающие очень высокую чувствительность метода к небольшим искажениям звукового поля. Для примера на рисунке показано искажение сигнала за счет преграды, имитирующей державку (алюминиевая лестница располагалась на расстоянии 0.7 м сбоку или сзади от микрофона, а также на решетчатом полу камеры между источником и микрофоном). В дальнейшем предполагается развитие метода для оценки амплитудных и фазовых характеристик акустических трактов, а также для определения коэффициента отражения материалов и конструкций.

19.05-01.409 Модернизация лабораторной акустической камеры. *Зайцев А.В., Пузырёв В.И., Шеронова Т.С., Булжин В.В. Методы и устройства передачи и обработки информации.* 2018, № 20, с. 14-20. Рус.

Представлены результаты модернизации малогабаритной лабораторной заглушенной камеры для исследования средств защиты от акустических воздействий. Проведена замена акустических излучателей. Сформирована самостоятельная акустическая система, встроенная в нижнюю часть конструкции камеры. Проведены измерения и представлена амплитудно-частотная характеристика камеры по звуковому давлению. В результате неравномерность АЧХ снизилась с 37 до 23,5 дБ. Установлены «провалы» в АЧХ на частотах 400 и 630 Гц. Определено, что эти провалы обусловлены конструктивными особенностями камеры. Даны рекомендации по выравниванию АЧХ на этих частотах.

19.05-01.410 Возможность применения реверберационных камер для исследования собственного излучения эрдов в наземных условиях. *Плохий А.П., Попов Г.А. Известия Российской академии наук. Энергетика.* 2018, № 3, с. 76-83. Рус.

Статья посвящена новому направлению, связанному с применением реверберационных камер в задачах оценки собственного излучения электрических ракетных двигателей (ЭРД). Рассматриваются современные методы определения помехоэмиссии технических объектов с использованием реверберационных камер, приводятся описания конструкций современных стендов, позволяющих в соответствии с международными стандартами проводить испытания на помехоустойчивость и помехоэмиссию в широком диапазоне частот без применения дорогостоящих поглотителей электромагнитного излучения. Обсуждается предложенный авторами новый подход для определения помехоэмиссии ЭРД, основанный на использовании реверберационных свойств металлических вакуумных камер. Приводятся пример технической реализации и варианты конструкций переизлучателей, обеспечивающих необходимые частотные диапазоны измерений.

19.05-01.411 Исследование продольных напряжений в рельсах с использованием эффекта акустоупругости на действующем участке железнодорожного пути. *Степанов Л.Н., Курбатов А.Н., Тенчилов Е.С. Контроль. Диагностика.* 2019, № 2, с. 14-21. Рус.

Разработана методика контроля температуры закрепления и продольных напряжений в рельсовых плетях железнодорожного бесстыкового пути ультразвуковым (УЗ) методом с использованием эффекта акустоупругости. На учебном полигоне СГУПС проведены измерения продольных напряжений в рельсах при их механическом растяжении с относительной погрешностью не выше 10%. Определено влияние температуры рельса на скорость распространения УЗ-волн. Получены зависимости изменения времени задержки распространения УЗ-волн от температуры в ненагруженном участке рельса, расположенном на тележке, и в нагруженном рельсе. Расчет напряжений в рельсовой плети проводили через измеренные временные параметры УЗ-волн. Разработан способ определения продольных напряжений в рельсах, позволяющий учитывать влияние на них температуры. Определены температура закрепления рельса и продольные напряжения на действующем участке железнодорожного пути с использованием эффекта акустоупругости.

См. также **19.05-01.71**, **19.05-01.82**, **19.05-01.265**, **19.05-01.335**

Акустическая диагностика и неразрушающий контроль

19.05-01.412 Влияние слабого электрического поля на пространственно-временную динамику акустической эмиссии при одноосном сжатии гранита. *Пантелеев И.А., Мубассарова В.А., Дамаскинская Е.Е., Богомолов Л.М., Наймарк О.Б. Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16–19 июня 2015 г. М.: ГЕОС. 2015, с. 54-55. Рус.*

19.05-01.413 Влияние конфигурации системы приемников акустической эмиссии на точность локации источников. *Айгожиева А.К., Зенченко П.Е., Зенченко Е.В. Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов*

III Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16–19 июня 2015 г. М.: ГЕОС. 2015, с. 85-86. Рус.

19.05-01.414 Исследование ультразвукового метода контроля массы неоднородного материала. *Лукьянов В.Г., Надвоица В.В. Южно-Сибирский научный вестник.* 2019, № 2, с. 88-91. Рус.

Представлен краткий теоретический анализ взаимодействия ультразвукового сигнала с неоднородной средой. В рамках выявления зависимости амплитуды ультразвуковых колебаний от массы неоднородного материала предложена экспериментальная установка, принцип работы первичного измерительного действия которой основан на ослаблении акустических колебаний, прошедших через контролируемые образцы. Результаты экспериментальных исследований подтвердили зависимость характера поглощения ультразвуковых колебаний от массы вещества неоднородной среды.

19.05-01.415 Акустико-эмиссионный контроль качества сварных швов объектов морской техники. *Карлов С.А., Сульженко В.А., Яковлев А.В. Труды Крыловского государственного научного центра.* 2019, № 20191, с. 130-136. Рус.

Рассматриваются возможности применения метода АЭ для оценки технического состояния объектов морской техники, в том числе методология и результаты контроля судовых трубопроводных систем при их пневматических испытаниях, контроль качества сварных соединений корпусных конструкций непосредственно в процессе их изготовления.

19.05-01.416 Методика контроля качества цементирования по акустическому импедансу. *Шумилов А.В. Геофизика.* 2019, № 3, с. 60-65. Рус.

Описывается разработка единого подхода по оценке качества цементирования акустическим методом. Используется индекс качества цементирования, зависящий от отношения расчетного и теоретического импеданса цемента, различного по своим свойствам. Описанная методика реализована в программном обеспечении «Соната». Приведены примеры успешной реализации подхода.

19.05-01.417 Виброакустическая диагностика и прогноз остаточных ресурсов элементов машин с применением корреляционной теории случайных процессов. *Лепихова В.А., Скрипников Е.В., Вильбицкая Н.А., Рябоус А.Ю. Известия высших учебных заведений (вузов). Северо-Кавказский регион. Технические науки.* 2019, № 3, с. 87-90. Рус.

Приведена разработка методики виброакустической безразборной диагностики элементов тяговых двигателей (ТД) в эксплуатационном режиме. Объектом исследования является работоспособность подшипника качения ТД с помощью анализа спектра акустических шумов, излучаемых элементами работающего подшипника. Виброакустические шумы подшипника разлагаются с помощью спектроанализатора в спектр, составляющая которого коррелирована с видами повреждения тел качения, беговых дорожек и сепаратора. Диагностика подшипника выполняется сначала предварительным диагнозом путем прослушивания отфильтрованного полосовыми фильтрами шума подшипника и измерением общего уровня шума двухпороговым индикатором. Окончательный диагноз выполняется с помощью виброакустической аппаратуры на специализированном участке депо или ремзавода. Текущие спектрограммы сравниваются с «эталонной» дефектов, для «типовых» повреждений подшипников, что позволяет увеличить надежность и безаварийность эксплуатации подшипников ТД магистральных электровозов.

19.05-01.418 Современное оборудование для проведения ультразвукового контроля сварных соединений. *Ефимов И.Н. Территория NDT. Международный журнал по неразрушающему контролю.* 2019, № 3, с. 38-42. Рус.

19.05-01.419 Влияние пузырьков газа на вибрационные параметры измерительных трубок кориолисового расходомера. *Лех И.А., Тараненко П.А., Бескачко В.П. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика.* 2019, 11, № 3, с. 47-

55. Рус.

В связи с разработкой методики измерения параметров потоков «жидкость—газ» кориолисовыми массовыми расходомерами (КМР) предпринята попытка оценить влияние присутствия пузырьков газа на параметры колебаний измерительной трубки КМР. Разработана балочная конечноэлементная модель прямой трубки, реализованная средствами пакета MATLAB. Поток флюида описывается в 1D-приближении, присутствие газового пузырька моделируется локальным (с точностью до размера конечного элемента) изменением плотности потока в месте расположения пузырька в данный момент времени. Возбуждение поперечных колебаний трубки осуществляется с помощью внешней гармонической силы, приложенной в центре трубки. Частота возбуждения задается равной частоте собственных колебаний заполненной трубки с пузырьком. Выполнена серия численных экспериментов, в которых варьировались объемная доля газовой фазы и скорость флюида. Выявлена зависимость от этих факторов обусловленного эффектом Кориолиса фазового сдвига между колебаниями плеч расходомера. Оценена погрешность определения массового расхода, обусловленная присутствием пузырьков. Проведена серия экспериментов по наблюдению пузырьковых эффектов с промышленным расходомером ДУ15. Найдено качественное согласие результатов расчетов и экспериментов.

19.05-01.420 Метод ультразвукового зондирования при оценке предельного состояния металлоконструкций, связанного с появлением пластических деформаций. Ерофеев В.И., Ильяшинский А.В., Никитина Е.А., Пахомов П.А., Родюшкин В.М. Физическая мезомеханика. 2019. 22, № 3, с. 65 - 70. Рус.

На примере деформации стали в области упругой и пластической деформации показано, что применение поверхностных волн Рэлея позволяет оценить напряженно-деформированное состояние конструкции как в области упругой, так и пластической деформации. Наиболее информативными параметрами при анализе предельного состояния, связанного с появлением пластических деформаций, являются дисперсия и форма зондирующего сигнала. Показано, что представление процессов, определяющих влияние среды на параметры упругой волны статистической моделью в виде распределения Дирихле, позволяет выделить новый диагностический признак акустической анизотропии в конструкции, описывающей распространение ультразвуковых волн в материале, подверженном упругопластическому деформированию. Эти данные могут быть использованы для предварительной оценки уровня деформации конструкции, перед оценкой ее состояния по результатам измерения скорости волн.

19.05-01.421 Акустическая томография — метод вибродиагностики трубопроводов. Самойлов Е.В. В мире неразрушающего контроля. 2019. 22, № 2, с. 58-60. Рус.

В мировой практике широко используются вибродиагностические методы НК, в том числе все большую популярность набирает метод акустической томографии, использующийся на трубопроводах жидких сред, включая нефтепроводы, трубопроводы горячего и холодного водоснабжения. Техническое диагностирование этим методом позволяет на единичном участке длиной до 300 м обнаружить на трубе аварийно опасные дефекты (уточнение стенки трубы, места интенсивной трещиноватости, дефекты сварных швов) и интервалы повышенных напряжений. В статье представлены результаты сравнительных испытаний. Метод широко используется в первую очередь организациями теплоснабжения.

19.05-01.422 Повышение эффективности ультразвукового контроля на основе дополнительной информации об индикатриссах рассеяния дефектов. Рафиков Р.Х. Дефектоскопия. 2019, № 5, с. 11-21. Рус.

Предложена методика ультразвукового контроля (УЗК), позволяющая классифицировать внутренние дефекты в сварных соединениях на плоскостные и объемные на основе применения их индикатрисс рассеяния. В качестве излучателя и приемника при УЗК применены специально изготовленные наклонные раздельно-совмещенные преобразователи типа «Дуэт» с углами ввода 29 и 61°, возбуждающие в контролируемом объекте

головную волну. Рассмотрены информационные признаки дефектов, основанные на использовании их индикатрисс рассеяния, которые позволяют повысить достоверность результатов ультразвукового контроля. Показано, что индикатриссы рассеяния дефектов наиболее информативны, благодаря особенностям распространения головных волн, при угле ввода 29° (угол призмы, близкий к первому критическому углу для пары материалов оргстекло—алюминиево-магниевого сплава) и при угле ввода 61° (угол ввода, близкий к дополняющему углу от 29 до 90°). Проведена оценка статистической значимости результатов вычисления коэффициентов корреляции и конкордации на заданных уровнях значимости $\alpha=0,05$ и $\beta=0,05$, где α и β — вероятности ошибок первого и второго рода соответственно. Составлены корреляционные матрицы для полученных индикатрисс рассеяния дефектов. Дополнительно достоверность результатов проверена с помощью сопоставления полученных данных с базой данных ранее выполненных измерений и их результатов.

19.05-01.423 Структуроскопия изделий из полимерных материалов с помощью анализа мгновенного спектра ультразвуковых сигналов. Качанов В.К., Соколов И.В., Первушин В.В., Тимофеев Д.В. Дефектоскопия. 2019, № 6, с. 3-10. Рус.

Показано, что с помощью анализа мгновенного спектра ультразвукового сигнала, прошедшего в теновом режиме через исследуемое изделие, возможно установить степень различия структуры изделий из полимерных мелкодисперсных материалов с различным содержанием одной из компонент полимера, что не удается сделать с помощью традиционных методов ультразвуковой структуроскопии, основанных на анализе степени затухания и измерении скорости ультразвука в материале.

19.05-01.424 Неразрушающий контроль структурно-неоднородных композиционных материалов методом годографа скорости упругих волн. Потапов А.И., Кондратьев А.В., Смородицкий Я.Г. Дефектоскопия. 2019, № 6, с. 11-19. Рус.

Рассмотрены теоретические основы неразрушающего контроля крупногабаритных конструкций и сооружений из структурно-неоднородных композиционных материалов методом годографа скорости упругих волн. Приведены теоретические основы метода годографа скорости упругих волн для однослойной среды, а также распространение низкочастотных упругих волн в однородной изотропной однослойной среде. На основе исследований даны рекомендации по определению дефектов и скорости распространения упругих волн в однослойной среде, что позволяет обеспечить неразрушающий контроль физико-механических характеристик материала в слое и дефектоскопию и толщиномерию крупногабаритных конструкций и сооружений из крупноструктурных и композиционных материалов.

19.05-01.425 Анализ фазы ЦФА-изображения с целью определения типа обнаруженного отражателя. Базулин Е.Г., Вопилкин А.Х., Сухоруков Н.И., Тихонов Д.С. Дефектоскопия. 2019, № 7, с. 20-29. Рус.

В ультразвуковой дефектоскопии разработаны методы регистрации и анализа эхосигналов для определения типа отражателя и его размеров. Метод TOFD позволяет по фазе эхосигналов отличать трещину от объемного отражателя и с высокой точностью определять ее высоту. Но при наличии шума на его фоне выделить полезный сигнал может оказаться сложно. Кроме того, в методе TOFD без сканирования поперек сварного соединения невозможно определить смещение отражателя от центра шва. Метод цифровой фокусировки антенной (ЦФА) позволяет получать изображения высокого качества во всем объеме сварного соединения, но обычно анализируется только амплитуда ЦФА-изображения, не принимая во внимание его фазу. В данной работе используются сильные стороны этих методов при анализе изображения отражателей, что позволяет с большей достоверностью определять тип отражателя и его координаты при наличии шума. Численные и модельные эксперименты подтвердили работоспособность предложенного подхода.

19.05-01.426 Применение метода акустической эмиссии для повышения эффективности обнаружения рас-

слоения в металле сосудов, работающих в среде водородосодержащего газа. *Растегаев И.А., Гомера В.П., Тюпин С.А., Смирнов А.Д., Григорьева А.В. Контроль. Диагностика.* 2019, № 4, с. 4-11. Рус.

Приведены оценки вероятности обнаружения расслоения металла стенки емкостного оборудования при различных вариантах применения методов выборочного и интегрального неразрушающего контроля на реальном практическом примере технического диагностирования сепаратора водородосодержащего газа. Показано, что метод акустической эмиссии позволяет существенно повысить вероятность обнаружения расслоения стенки оборудования при его техническом диагностировании с сохранением объема выборочного контроля сканирующими методами. Указанный положительный эффект может быть достигнут на этапе планирования объема и местоположения зон применения сканирующих методов неразрушающего контроля перед проведением технического диагностирования за счет использования предварительно полученных данных акустико-эмиссионного контроля о расположении и степени опасности зарегистрированных акустических источников. Получение данной информации возможно как при проведении акустико-эмиссионного контроля оборудования во время технического диагностирования, так и в режиме его эксплуатации. Также показано, что вероятность обнаружения расслоения металла при акустико-эмиссионном контроле увеличивается пропорционально уменьшению площади локационного кластера, а ее наименьшее значение определяется размерами (площадью) антенной решетки.

19.05-01.427 Иммерсионный ультразвуковой контроль заготовок с криволинейными поверхностями с настройкой аппаратуры на плоских образцах. *Лоэскова Д.С., Краснов И.С., Далин М.А. Контроль. Диагностика.* 2019, № 4, с. 36-44. Рус.

Разработан способ определения поправочных коэффициентов, выравнивающих чувствительность ультразвукового неразрушающего контроля во всем диапазоне глубин для объектов с криволинейной поверхностью после настройки дефектоскопического оборудования на образцах с плоской поверхностью. Поправочные коэффициенты были вычислены с использованием численного математического моделирования физических процессов ультразвукового контроля. Проведена экспериментальная проверка корректности и оценка погрешности разработанного математического аппарата.

19.05-01.428 К вопросу выявления и идентификации комбинированных дефектов при диагностировании магистральных нефтепроводов с использованием акустических внутритрубных инспекционных приборов. *Жуков А.Д. Контроль. Диагностика.* 2019, № 4, с. 30-35. Рус.

Рассматривается проблема оценки технического состояния по результатам диагностирования магистральных нефтепроводов с использованием акустических внутритрубных ультразвуковых инспекционных приборов (ВИП), связанная с выявляемостью и идентификацией комбинированных дефектов. Показано, что использование регламентированных в действующей нормативно-технической документации (НТД) настроечных образцов (НО) с угловым отражателем, образованным двумя плоскими поверхностями, может приводить к неправильной интерпретации результатов диагностирования по амплитудному признаку. Адекватность использования этого отражателя применительно к комбинированному дефекту требует дополнительного обоснования. Предложена уточненная модель, более точно отражающая механизм рассеяния упругих колебаний от поверхности рассматриваемых комбинированных дефектов. Модель представляет собой угловой отражатель, у которого одна поверхность является плоской, а другая — криволинейной. Качественно показаны особенности процесса формирования отраженного эхосигнала для предложенного углового отражателя по сравнению с регламентированным в действующей НТД. Экспериментально подтверждено существенное различие значений амплитуд эхосигналов, формируемых от регламентированных угловых отражателей и уточненной модели, имитирующей комбинированные дефекты.

19.05-01.429 Результаты экспериментального исследова-

ния процесса перераспределения энергии собственных колебаний под воздействием демпфирующих факторов. *Коновалов А.М., Кузусhev В.И., Яковлев А.Ю. Контроль. Диагностика.* 2019, № 4, с. 46-51. Рус.

Представлены результаты экспериментальных исследований процесса демпфирования собственных колебаний балки в виде пластины прямоугольного сечения. Исследования проводились с целью продемонстрировать сопровождающий демпфирование процесс перераспределения энергии между формами и гармониками собственных колебаний. Показано, что процесс перераспределения при ограничении возбуждающей энергии обладает большей чувствительностью к демпфирующим факторам. Это позволяет использовать его в качестве индикатора наличия трещин в процессе интегрального неразрушающего контроля деталей и целых конструкций.

19.05-01.430 Использование экспериментальных данных об акустической эмиссии при изучении изменений характеристик дискообразных трещин в процессе разрушения. *Беликов В., Рывкин Д.Г. Прикладная механика и теплотехническая физика.* 2019, 60, № 3, с. 207-217. Рус.

С использованием модели дискообразных трещин по двум амплитудно-частотным спектрам акустической эмиссии, зарегистрированным в процессе разрушения образца бетона, восстановлена их функция распределения по размерам, а также соответствующие распределения пористости и удельной площади внутренней поверхности материала. Исследовано изменение этих характеристик твердого тела в интервале времени между моментами регистрации спектров.

19.05-01.431 Анализ эффективности ультразвуковых и магнитных каналов дефектоскопических комплексов при контроле рельсов. *Марков А.А., Максимов Е.А. Вестник Ижевского гос. технич. ун-та.* 2019, 21, № 2, с. DOI 10.22213/2413-1172-2019-2-22-32. Рус.

Рассмотрены возможности диагностических комплексов, размещенных на вагонах дефектоскопах, при контроле рельсов со скоростью до 60 км/ч. Показана эффективность отдельных каналов комплексов, реализующих ультразвуковые методы отражения и прохождения при выявлении поперечных и продольных трещин в головке рельсов. Проанализирована значительная база данных реальных поврежденных рельсов. Показано, что около 80% дефектов в головке рельса — это трещины продольной ориентации, которые весьма неуверенно выявляются ультразвуковыми наклонными каналами. Впервые оценен вклад каждого из ультразвуковых и магнитных каналов дефектоскопических комплексов в обнаружение дефектов в головке рельсов. Ни один из ультразвуковых каналов по отдельности не обеспечивает обнаружение всех рассмотренных повреждений. Магнитный метод контроля с активной системой намагничивания рельсов при поиске дефектов в головке рельсов на глубине до 20—22 мм не уступает по эффективности ультразвуковым методам контроля. Наличие магнитного канала с активной системой намагничивания позволяет дополнительно обнаруживать на 26% дефектов больше, чем при его отсутствии. Анализ сигналов от реальных дефектов еще раз подтвердил, что только комплексное применение ультразвуковых и магнитного методов контроля обеспечивает надежное и своевременное обнаружение опасных дефектов в рельсах.

19.05-01.432 Натурные исследования развития внутренней коррозии на углах поворотов в стальных трубах. *Аманбаев Е.Н., Бейшекеев К.К., Алимбаев Б.А., Манапбаев В.Ж. Вестник Кыргызско-Российского Славянского ун-та.* 2018, 18, № 12, с. 74-78. Рус.

Рассматривается вопрос развития коррозии на углах поворотов в стальных трубах гидротехнических сооружений, который исследован недостаточно. С помощью ультразвукового контроля была определена степень развития коррозии на углах поворотов в стальных трубах. По результатам исследований доказана первостепенность развития коррозии на криволинейных участках труб. Предложены мероприятия по надежной эксплуатации труб гидротехнических сооружений.

19.05-01.433 Применение метода акустической эмиссии при определении механических характеристик проволочки БрНХК-2,5-0,6-0,7 при производстве упругих

элементов. *Силаев М.Ю., Еськова Е.А., Герус Д.С., Ремшев Е.Ю. Вестник Московского авиац. ин-та.* 2019, 26, № 2, <http://vestnikmai.ru/publications.php?ID=104993>. Рус.

Исследовалась возможность использования проволоки из никель-хром-кремниевой бронзы БрНХК-2,5-0,6-0,7 для изготовления упругих элементов, в частности винтовых пружин. Представлены результаты исследования механических характеристик бронзового сплава БрНХК с применением метода акустической эмиссии. Анализировались зависимости между параметрами акустической эмиссии и механическими характеристиками проволоки БрНХК-2,5-0,6-0,7 после реализации различных режимов термической обработки. Для установления закономерностей между параметрами акустической эмиссии и механическими характеристиками построены совмещенные диаграммы. Применяя метод акустической эмиссии, можно при растяжении образца оперативно определять размер зерна испытанного материала, что, в свою очередь, позволит прогнозировать эксплуатационные свойства готового изделия (релаксационную стойкость, ползучесть) на стадии проектирования упругих элементов, что позволит технологу выбрать оптимальный режим термической обработки без длительных исследований микроструктуры. Полученные закономерности можно использовать при входном контроле пружинных материалов для подтверждения сертификационных требований, а также для прогнозирования свойств на длительный период эксплуатации (до 25 лет).

См. также 19.05-01.141

Акустические методы обработки материалов и изделий

19.05-01.434 Информационное обеспечение ультразвуковой финишной обработки цилиндрических деталей. *Крылова Н.А., Шуваев В.Г. Труды международного симпозиума "Надежность и качество".* 2019, № 1, с. 243-244. Рус.

Рассматриваются вопросы эффективного формирования характеристик качества поверхностного слоя деталей с помощью воздействия ультразвуковых колебаний, причем оптимальный выбор параметров производится на основе результатов измерений информативных показателей результата взаимодействия обрабатываемой детали с ультразвуковым инструментом.

19.05-01.435 Влияние ультразвукового излучения на напряжение пробоя трансформаторного масла. *Гаджиев М.Х., Тюфтяев А.С., Исакаев Э.Х., Сон Э.Е., Акимов П.Л. Известия Российской академии наук. Энергетика.* 2018, № 2, с. 36-40. Рус.

Исследовано воздействие на трансформаторное масло ультразвуковых волн малой мощности при расположении излучателя как снизу на некотором расстоянии от разрядных электродов, так и сверху. Установлено, что в начальный период времени пробивное напряжение трансформаторного масла снижается по отношению к чистому маслу из-за дегазации и возникновения кавитационных пузырьков. С ростом времени воздействия ультразвука напряжение пробоя растет, увеличивается нелинейно и оно больше при расположении излучателя под разрядными электродами.

19.05-01.436 Исследование влияния метода аэродинамического звукового упрочнения на износ твердосплавного инструмента при фрезерной обработке материала из чугуна. *Жигалов А.Н., Жолобов А.А., Шелег В.К. Вестн. Белор.-Рос. унив.* 2019, № 3, с. 316-47. Рус.

Метод аэродинамического звукового упрочнения (АДУ) позволяет существенно повысить стойкость твердосплавного инструмента, работающего с ударными нагрузками. Проведены однофакторные исследования влияния режимов обработки твердосплавными пластинами В35 чугуна СЧ20 на их износ. Экспериментально полученные степенные зависимости износа от пути резания для пластин В35 показывают, что при фрезеровании заготовок из чугуна СЧ20 пластинами, упрочненными методом АДУ, происходит снижение их износа по сравнению с неупрочненными в 1,6–3,5 раза.

Акустические технологии в промышленности

19.05-01.437 Исследование процесса ультразвуковой экстракции для приготовления пантовых ванн. *Гришова И.Н., Хмелев В.Н., Галахов Н.Н. Южно-Сибирский научный вестник.* 2019, № 2, с. 199-203. Рус.

Представлены результаты исследований процесса экстракции сырых пантов для получения пантового водного экстракта с применением ультразвуковой интенсификации на специализированной установке «Пант-Эра 250». Для проведения исследований процесса ультразвуковой экстракции использовался интегрированный в установку ультразвуковой технологический аппарат серии Волна -М модели УЗТА — 0,122 ОРв. Изучение процесса ультразвуковой экстракции пантов проводили в условиях лаборатории переработки и сертификации продукции пантового оленеводства Всероссийского научно-исследовательского института пантового оленеводства ФГБНУ ФАНЦА. Определение оптимального количества пантов для процедуры «Пантовая ванна» проводили, используя следующие навески: 200, 300 г сырых замороженных пантов марала 1 сорта на 210 л воды. Ультразвуковая экстракция осуществлялась в температурных режимах 65, 75°C в течение 45 минут каждая с одновременной оценкой показателя экстинции после экстракции и после пастеризации на протяжении 11 процедур. Образцы оценивали по показателю экстинции, значения которого от 0,12 до 0,23 определяют лечебно-бальнеологическое действие водных экстрактов пантов. В ходе промышленных испытаний специализированной установки для получения водного экстракта пантов «Пант-Эра 250» с ультразвуковой системой интенсификации процесса экстракции было установлено, что применение 200 г сырых пантов марала 1 сорта на 210 литров воды обеспечивает показатель экстинции с заданным лечебно-бальнеологическим эффектом и соответствие микробиологических показателей нормативным значениям при ультразвуковой экстракции в течение 45 минут при температуре 65°C. Установлено, что использование ультразвуковых колебаний является более целесообразным в сравнении со стандартной высокотемпературной многочасовой методикой В.В. Александрова.

19.05-01.438 Влияние ультразвукового воздействия в процессе цикла наплавки на свойства и структуру наплавленного металла из стали 12Х18Н10Т. *Щицын Ю.Д., Неулыбин С.Д., Велинин Д.С., Никулин Р.Г., Карунакаран К.П. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение.* 2019, № 2, с. 23-30. Рус.

Аддитивные технологии, или технологии послойного синтеза — одно из наиболее динамично развивающихся направлений «цифрового» производства. Общими задачами аддитивных технологий являются обеспечение надлежащей микроструктуры синтезированного материала и устранение дефектности. Использование присадочной проволоки в качестве рабочего материала позволяет избежать проблем, связанных с низкой производительностью существующих методов, высокой стоимостью применяемого оборудования, ограниченностью типов применяемых материалов, обусловленной использованием порошковых систем. Изделия из нержавеющей хромоникелевых сталей находят широкое применение в самых различных отраслях промышленности. Основной задачей при аддитивных технологиях является обеспечение свойств слоистых материалов не ниже, чем у получаемых традиционными методами. Характерными дефектами слоистых материалов, полученных наплавкой, являются повышенная пористость, неметаллические включения, снижение пластичности, а для высоколегированных сталей — потеря специальных свойств. Это предопределило развитие исследований в области дополнительных технологических мер для повышения конечных свойств изделия. Широко известны методы, основанные на деформационном воздействии на зону наплавки. Представлены результаты исследования влияния ультразвуковых колебаний на структуру и свойства наплавленной стали 12Х18Н10Т. Наплавка проволоки марки 12Х18Н10Т осуществлялась дуговой наплавкой неплавящимся электродом в среде защитного газа аргона. Установлено, что ультразвуковое воздействие оказывает влияние на конечный размер зер-

на, структурообразование и твердость, а также на геометрию наплавленного слоя. Исследования показывают, что использование ультразвуковых колебаний в процессе наплавки может быть применено при проектировании оборудования для реализации процессов аддитивного производства.

19.05-01.439 Влияние технологических параметров на прочность изделий из АБС-пластика при ультразвуковой сварке. *Волков С.С., Королев С.А., Розанов Д.С. Известия высших учебных заведений. Машиностроение.* 2019, № 5, с. 17-26. Рус.

Предложен способ ультразвуковой сварки изделий круглой формы из АБС-пластика, который позволяет исключить влияние неровностей и волнистостей, имеющих на поверхности контакта контурного волновода-инструмента со свариваемым изделием, увеличить теплоотвод от поверхности изделия в подволноводной зоне, а также повысить производительность ультразвуковой сварки, прочность и качество сварного соединения. Показано, что в качестве волновода-инструмента для контурной ультразвуковой сварки изделий типа колеса вентилятора из АБС-пластика наиболее оптимальным с точки зрения равномерности распределения амплитуды колебаний по периметру рабочего торца волновода является волновод грибообразной формы. Определена оптимальная форма рабочего торца такого волновода, предусматривающая фиксацию соединяемых изделий относительно его оси по их наружному диаметру. Установлено, что при определенном сочетании режимов ультразвуковой сварки АБС-пластика скорость деформирования на больших сварочных давлениях может оказаться выше, чем на малых, что обусловлено конкуренцией трех факторов: температуры, статического сварочного давления и концентрации энергии на соединяемых поверхностях. Определено, что для сварки АБС-пластика необходимо использовать так называемые мягкие режимы ультразвуковой сварки с малыми статическим сварочным давлением и амплитудой колебания рабочего торца волновода. В этом случае сварное соединение достига-

ется только за счет распределения микронеровностей без образования вмятин от волновода на поверхности свариваемого материала. Выявлены оптимальные параметры режимов сварки АБС-пластика.

19.05-01.440 Влияние параметров ультразвуковой сварки на прочность контактных соединений выводов интегральных микросхем. *Филатов И.С., Армянников И.С., Маматказин Т.Р. Вестник Тамбовского государственного технического университета (ТГТУ).* 2019, 25, № 1, с. 149-154. Рус.

Исследованы зависимости прочности микросварных соединений от параметров ультразвуковой микросварки: усилия прижима, величины тока, подаваемого на генератор ультразвуковых колебаний, времени сварки. Получены параметры, при которых наблюдалась наибольшая прочность соединений контактов. Решена одна из главных задач в области сборки интегральных микросхем, а именно, подобраны оптимальные параметры для соединений типа «шарик—клин», формируемые из золотой проволоки на подложке с золотым покрытием на установке ультразвуковой мик.

Акустический мониторинг технологических процессов

19.05-01.441 Обеспечение качества сборки резьбовых соединений газотурбинных двигателей с помощью ультразвукового воздействия по критерию заданной прочности. *Шуваев В.Г., Непомилуев В.В., Рыкунов А.Н., Семенов А.Н. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника.* 2019, № 1, с. 153-156. Рус.

Акустические стандарты

См. **19.05-01.315**

Акустика в медицинской практике

Ультразвук в медицинской диагностике. Сонография (УЗИ)

См. **19.05-01.255, 19.05-01.392**

Физика

19.05-01.442 Челябинский метеороид: анализ акустических сигналов в области прямого распространения звука. *Подобная Е., Рыбнов Ю., Глазачев Д., Попова О., Шувалов В., Харламов В., Дженнискенс П. Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16—19 июня 2015 г. М.: ГЕОС. 2015, с. 92-93. Рус.*

19.05-01.443 Космические гамма-всплески и мягкие гамма-репитеры — наблюдения и моделирование экстремальных астрофизических процессов (К 100-летию Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН). *Аптекарь Р.Л., Быков А.М., Голенецкий С.В., Фредерикс Д.Д., Свинкин Д.С., Уланов М.В., Цветкова А.Е., Козлова А.В., Лысенко А.Л. УФН.* 2019, 189, № 8, с. 785-802. Рус.

Гамма-всплески и гамма-репитеры (повторные мягкие гамма-всплески) являются наиболее яркими источниками космического гамма излучения. Физические процессы, приводящие к огромным светимостям космических гамма-источников, представляют фундаментальный интерес, поскольку позволяют изучать явления в окрестности чёрных дыр звёздных масс и нейтронных звёзд с магнитными полями, вероятно, выше критических квантово-электродинамических значений, необходимых для поляризации вакуума. Это делает возможным изу-

чение физических процессов в условиях, недостижимых в физических лабораториях. Высокая светимость гамма-всплесков позволяет наблюдать их на космологических расстояниях и изучать процессы образования первых звёзд, а также свойства материи на луче зрения. Приводится краткий обзор результатов современных всеволновых исследований космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров. Описывается история развития, основные результаты и перспективы исследований космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров — актуального направления фундаментальных космических исследований в Физико-техническом институте (ФТИ) им. А.Ф. Иоффе РАН. Детально представлены результаты, полученные в экспериментах с детекторами КОНУС нескольких поколений, разработанных и успешно реализованных в ФТИ. Наблюдательные данные, полученные в космических экспериментах, эффективно дополняются результатами моделирования астрофизических источников с экстремальным выделением энергии. Обсуждаются перспективы исследования гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров, включая эксперименты, планируемые в ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

19.05-01.444 Кватернионное решение задачи оптимального поворота плоскости орбиты космического аппарата переменной массы с помощью тяги, ортогональной плоскости орбиты. *Сапунков Я.Г., Челноков Ю.Н. Механика твёрдого тела.* 2019, № 4, с. 109-128. Рус.

Решена в нелинейной постановке с использованием кватернионного дифференциального уравнения ориентации орбитальной системы координат и принципа максимума Понтрягина задача оптимального поворота плоскости орбиты космического аппарата (КА) переменной массы в инерциальной системе координат. Рассмотрены задачи быстродействия, минимизации импульса тяги, характеристической скорости КА, а также задачи минимизации комбинированных функционалов качества: времени и суммарного импульса величины тяги, затраченных на процесс управления, времени и характеристической скорости КА. Управление поворотом плоскости орбиты КА на любые по величине углы производится с помощью ограниченной по модулю реактивной тяги, ортогональной плоскости оскулирующей орбиты КА. Учитывается изменение массы аппарата за счет расхода рабочего тела на процесс управления. Частным случаем изучаемой задачи является задача оптимальной коррекции угловых элементов орбиты КА. Приведены результаты расчетов оптимального управления плоскостью орбиты КА посредством малой ограниченной реактивной тяги с большим количеством пассивных и активных участков траектории.

19.05-01.445 Методы топологической оптимизации в программном комплексе 3D Printer. Дьянов Д.Ю., Медведкина М.В., Выжов А.Н., Попов В.В. Мат. моделир. 2019. 31, № 7, с. 75-90. Рус.

В рамках проекта «Разработка атласа типовых форм для топологической оптимизации конструкций, формируемых методом селективного лазерного плавления, и их производственная верификация» (договор с Министерством образования и науки, шифр 2016-14-579-0009-492), участниками которого являются НИТУ «МИСиС», АО «НПО «ЦНИИТМАШ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Министерство образования и науки РФ, ОАО «Наука и инновации» (ГК «Росатом») ведется разработка программного обеспечения, позволяющего проводить топологическую оптимизацию деталей с различными ограничениями целевой функции, а также генерировать и использовать различные типы ячеистых структур для заполнения объема деталей. В статье приведено описание методов и алгоритмов топологической оптимизации конструкций с ограничениями целевой функции по смещению и напряжению, разработанных в интересах использования в базовой версии программного обеспечения.

19.05-01.446 Методы решения теоретико-игровых моделей согласования интересов при управлении рыболовством. Сухинов А.И., Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Мат. моделир. 2019. 31, № 7, с. 127-142. Рус.

Исследуются динамические теоретико-игровые модели согласования частных и общественных интересов агентов в рамках концепции устойчивого развития управляемой ими динамической системы. В рамках этой концепции механизмы иерархического управления — методы принуждения и побуждения — формализованы как решения иерархических дифференциальных игр с фазовыми ограничениями, отражающими требования к состоянию управляемой динамической системы, обеспечивающему условия устойчивого развития. Принуждение предполагает воздействие ведущего игрока (субъекта управления устойчивым развитием) на множество допустимых управлений ведомого (субъекта воздействия на управляемую динамическую систему), а побуждение — на его функцию выигрыша. Механизмы административного и экономического управления формализованы как сценарии компьютерной имитации. Рассмотренные в статье динамические модели являются развитием моделей согласования общественных и частных интересов, предложенных Ю.Б. Гермейером и И.А. Вателем. Проведены численные расчеты и выполнен сравнительный анализ эффективности указанных механизмов управления для модели рыболовства.

19.05-01.447 Моделирование политических взглядов российских пользователей социальной сети ВКонтакте. Козицин И.В., Чартишвили А.Г., Марченко А.М., Норкин Д.О., Осипов С.Д., Утешев И.А., Гойко В.Л., Палкин Р.В., Мяжков М.Г. Мат. моделир. 2019. 31, № 8, с. 3-20. Рус.

Предложены две модели машинного обучения для автоматического определения политических взглядов российских пользователей ВКонтакте, в основе которых лежит микроподход к анализу данных ВКонтакте. Результаты приложены к различным научным и прикладным сферам. Одна из них — мониторинг общественного мнения: в результате апробации на выборке, состоящей из 22 миллионов цифровых отпечатков аккаунтов совершеннолетних пользователей, были построены две оценки распределения симпатий соответствующих пользователей в преддверии выборов Президента РФ 2018 года. При использовании этих оценок для построения ретроспективного прогноза результатов выборов средние абсолютные ошибки составили 12 и 19.4% соответственно, причем в первом случае были верно расставлены три первых места. Кроме того, представлен подход к калибровке параметров математических моделей динамики мнений, а именно, величин, отвечающих за сами мнения пользователей. В основе данного подхода лежат оценки, генерируемые построенными алгоритмами.

19.05-01.448 Молекулярно-динамический расчет макропараметров технических газов на примере аргона, азота, водорода и метана. Подрыга В.О., Вишнев Е.В., Поляков С.В. Мат. моделир. 2019. 31, № 8, с. 44-60. Рус.

Работа посвящена молекулярно-динамическим расчетам свойств технических газов, исследование которых является традиционной проблемой физики вещества. В настоящее время наблюдается повышенный интерес к данной проблеме в связи с развитием нанотехнологий и их внедрением в различные отрасли промышленности. Необходимые для моделирования свойства газа выражаются в виде набора макропараметров, включающих кинетические коэффициенты, параметры уравнения состояния, величины кинетической, потенциальной, полной и внутренней энергий. Исследование выполнено для технических газов: аргон, водород, азот и метан при давлении 1 атм, в диапазоне температур 100–400 К. Полученные расчетные данные по макропараметрам газов хорошо согласуются с известными теоретическими оценками и данными экспериментов.

19.05-01.449 Графы задач для репликаторных уравнений и "трагедия истощения общего ресурса". Волосова Н.К., Волосова А.К., Волосов К.А., Вакуленко С.П. Мат. моделир. 2019. 31, № 8, с. 101-119. Рус.

Появились активные пользователи, которым необходимо решение обратных задач на графе в условиях неопределенности для моделирования процессов в экономической сфере. Такие задачи ранее математиками не рассматривались. В данной работе найдена аналогия с математическими моделями, которые описываются репликаторной системой (РС) уравнений, связанной с темой «трагедии истощения общего ресурса» (ТИОР). Построены точные и асимптотические решения в случае «жестких» РС. Обнаружены эффекты «аргюги» вымирающего клона и эффект пограничного слоя, которые наблюдаются при численных расчетах. Проведена аналогия с некоторыми похожими по свойствам объектами, реально существующими в экономике. Описан эффект существования «теневых, невидимых» сверхпотребителей.

19.05-01.450 Гравитационное отклонение света по теории источников. Никитов А.И. Кратк. сообщ. по физ. ФИАН. 2019. 46, № 5, с. 29-33. Рус.

Теория источников предсказывает появление зависимости внешней метрики шара в G2-приближении от радиуса шара материи (и её тензора энергии-импульса). Я показываю, что в этом подходе зависимость от радиуса в отклонении безмассовой частицы проявляется только в модификации её траектории в G2-членах, но не в полном отклонении при пролёте. В частности, кратчайшее расстояние от шара до траектории зависит не только от прицельного параметра, но и от радиуса шара.

19.05-01.451 Квадрупольное электромагнитное излучение заряженной капли, осциллирующей в суперпозиции коллинеарных гравитационного и электростатического полей. Григорьев А.И., Колбнева Н.Ю., Ширяева С.О. Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2019. № 5, с. 70-82. Рус.

В аналитических расчетах первого порядка малости по безразмерной амплитуде осцилляций заряженной электропровод-

ной капли, неподвижной в суперпозиции гравитационного и электростатического полей, найдено аналитическое выражение для квадрупольного момента капли, обусловленного наличием собственного и индуцированного зарядов на ее поверхности. Во втором порядке малости по квадрату отношения характерного линейного размера капли к длине излучаемой волны оценена интенсивность электромагнитного излучения от капли, генерируемого изменением во времени величины ее квадрупольного момента.

19.05-01.452 МГД-волны и неустойчивости в двухкомпонентной анизотропной плазме. *Джалилов Н.С., Гусейнов С.Ш. Физика плазмы.* 2019. 45, № 7, с. 657-671. Рус.

На основе 16-моментных МГД-уравнений переноса рассмотрено распространение линейных волн в анизотропной однородной космической плазме. Получено общее дисперсионное уравнение с учетом двух компонентов плазмы (электроны и протоны) и теплового потока вдоль магнитного поля. Полученное дисперсионное уравнение является обобщением ранее исследованных случаев, когда плазма являлась ионной. Более подробно анализируются случаи, когда эффекты, связанные с тепловым потоком игнорируются. В пределе продольного распространения дана классификация волновых мод, которые полностью соответствуют известным модам из низкочастотной кинетической физики бесстолкновительной плазмы. Проанализированы плановые и зеркальные неустойчивости. Показано, что учет электронов меняет инкременты и условия возникновения неустойчивостей.

19.05-01.453 Пылевые ионно-звуковые уединенные структуры на звуковой скорости в присутствии нетепловых электронов и изотермических позитронов. *Paul A., Vandyopadhyay A., Das K.P. Физика плазмы.* 2019. 45, № 9, с. 848-864. Рус.

Метод псевдопотенциалов Сагдеева и теория, развитая в работе J. Plasma Phys. 78, 565 (2012) используются для изучения пылевых ионно-звуковых уединенных структур, движущихся со звуковой скоростью, в бесстолкновительной немагнитной пылевой плазме, состоящей из отрицательно заряженных неподвижных пылевых частиц, адиабатических теплых ионов, нетепловых электронов и изотермических позитронов. Данная система допускает существование солитонов как с положительным, так и с отрицательным потенциалом со звуковой скоростью, но не допускает одновременное сосуществование уединенных структур противоположной полярности со звуковой скоростью. Система также допускает существование двойного слоя отрицательного потенциала на звуковой скорости, но не допускает существование двойного слоя положительного потенциала. Хотя система допускает существование суперсолитона положительного потенциала со сверхзвуковой скоростью, но на звуковой скорости не существует суперсолитонов любой полярности. Уединенные структуры исследуются с помощью составного пространства параметров и фазовых портретов динамической системы, описывающей нелинейное поведение пылевых ионно-звуковых волн на звуковых скоростях. В случае, когда в системе нет позитронов, существует двойной слой отрицательного потенциала и суперсолитон отрицательного потенциала со звуковой скоростью, и для этого случая с помощью фазовых портретов обсуждается механизм перехода суперсолитона в солитон после формирования двойного слоя на звуковой скорости. Различия между уединенными структурами на звуковой и на сверхзвуковой скорости анализируются с помощью фазовых портретов.

19.05-01.454 Массивное гравитационное поле в плоском пространстве-времени. I. Калибровочная инвариантность и полевые уравнения. A massive gravitational field in flat spacetime. I. Gauge invariance and field equations. *Serdyukova M.A., Serdyukov A.N. Пробл. физ., мат. и техн.* 2019, № 2, с. 45-53. Англ.

Каноническое линейное массивное бесспиновое поле представлено в качестве калибровочно-инвариантной модели гравитации с квадратичным самодействием в рамках специальной теории относительности.

19.05-01.455 Эволюция вращательного движения динамически симметричного спутника с внутренним

демпфированием на круговой орбите. *Амелькин Н.И., Холощак В.В. Прикл. мат. и мех.* 2019. 83, № 1, с. 3-15. Рус.

В рамках модели М.А. Лаврентьева изучается влияние внутренней диссипации на вращательное движение спутника в центральном гравитационном поле. Выведены эволюционные уравнения и представлены результаты анализа эволюции вращательного движения динамически симметричного спутника, движущегося по кеплеровой круговой орбите, в зависимости от значений параметров и начальных условий.

19.05-01.456 Вращательное движение несимметричного спутника с демпфером на круговой орбите. *Амелькин Н.И., Холощак В.В. Прикл. мат. и мех.* 2019. 83, № 1, с. 16-31. Рус.

В рамках модели М.А. Лаврентьева изучается влияние внутренней диссипации на вращательное движение несимметричного спутника с демпфером на круговой орбите. Выведены эволюционные уравнения и исследована устойчивость плоских вращений спутника. Проведен анализ эволюции вращательного движения в зависимости от значений параметров и начальных условий.

19.05-01.457 Оптимальное комплексирование компонент глобальной сети гравитационных антенн. *Гусев А.В., Руденко В.Н. Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия.* 2019, № 2, с. 24-31. Рус.

Рассматривается задача оптимального объединения компонент глобальной сети гравитационных лазерных антенн с целью повышения эффективности регистрации и лучшей оценки параметров гравитационно-волновых сигналов астрофизической природы. В качестве сигнала выбран квазигармонический всплеск (чирп), сопровождающий событие слияния релятивистской двойной в конце ее эволюции. Форма такого сигнала известна с точностью до набора параметров, подлежащих оценке на фоне многочисленных когерентных и стохастических помех. В дополнение к известному методу фильтрации совпадающий выходных сигналов по времени (объединение компонент сети по выходу) анализируется альтернативная возможность учета когерентной фазы возбуждения отдельных детекторов (объединение компонент по входу). Рассчитываются статистические характеристики детектирования для обоих режимов. Используются методика, типичная для задач различения детерминированных сигналов в радиолокации. Показано существенное увеличение эффективности регистрации при входном объединении компонент сети.

19.05-01.458 Релятивистские редукции в прецизионных измерениях гравитационного поля Земли с помощью низкоорбитальных космических аппаратов. *Милоков В.К., Сажин М.В., Семенов В.Н., Е С.Ц., Съе Ч. Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия.* 2019, № 2, с. 82-88. Рус.

Развитие космических технологий открывает новые перспективы в создании моделей гравитационного поля Земли высокого разрешения. Применение прецизионной лазерной интерферометрической системы требует учета релятивистских эффектов в измерениях межспутникового расстояния в космической группировке. Основной величиной, измеряемой лазерной системой, является набег фазы лазерного луча при прохождении двойного расстояния между спутниками. В работе получено решение для релятивистской фазы, которое в дополнение к обычному члену Шапиро учитывает вклад квадрупольного члена в распределения массы Земли, спина Земли и приливных гравитационных полей, обусловленных гравитационными потенциалами внешних тел Солнечной системы. Сделана оценка членов релятивистской редукции на уровне точности ~ 1 нм, которая полностью удовлетворяет точности прецизионных измерений в группировке, состоящей из двух космических аппаратов. В гравитационных мультипарных миссиях следующего поколения будет необходимо учитывать релятивистские эффекты следующего порядка малости.

19.05-01.459 Асимптотически оптимальный алгоритм для поиска и оценки моды сплихтера по долговременным деформационным данным. *Виноградов М.П., Милоков В.К., Миронов А.П., Мясников А.В. Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия.* 2019, № 2, с. 89-94. Рус.

Мода Шлихтера (1S1) является самой длиннопериодной модой собственных колебаний Земли. Период этой моды зависит от разницы в плотности между внешним жидким и внутренним твердым ядром, что делает ее обнаружение очень важным для уточнения моделей Земли. Несмотря на многочисленные попытки обнаружения моды с использованием сети сверхпроводящих гравиметров, на данный момент подтвержденные экспериментальные данные о наблюдении моды Шлихтера отсутствуют, что связано с ее незначительной амплитудой на поверхности. В работе предлагается использовать для обнаружения моды Шлихтера данные лазерного интерферометра-деформографа Баксанской станции ГАИШ МГУ (Северный Кавказ) с длиной измерительного плеча 75 м. Для этого разработан асимптотически-оптимальный алгоритм для анализа данных с учетом их статистических свойств, выполнено моделирование обработки на искусственных данных для оценки величины возможного наблюдаемого эффекта и показателей обнаружения.

См. также 19.05-01.17, 19.05-01.25

Астрономия

19.05-01.460К **Голос надежды. Новое о Булате Окуджаве. Сборник. Кралов А.Е. (составитель) (ред.)** М.: Булат. 2004, 448 с. ISBN 5-98557-001-0

19.05-01.461К **Булат Окуджавы. Сер. ЖЗЛ. Вып. 1365(1165). Быков Д.Л.** М.: Молодая гвардия. 2009, 778 с. ISBN 978-5-235-03197-5

19.05-01.462 **Оценка шероховатости поверхности астероида по радиолокационным сигналам. Гаврик Ю.А., Гаврик А.Л., Кулешов Е.А., Смыслов А.А. Космическая радиолокация. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, проводимой в рамках III Всероссийских Арmandовских чтений, Муром, 25–27 июня 2013 г.** Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2013, с. 15-19. Рус.

Представлена методика оценки шероховатости поверхности астероида при радиолокации монохроматическим сигналом. Предложена модель расчетов спектра мощности эхо-сигнала для исследования связи между параметрами поверхности и характеристиками радиосвечения.

19.05-01.463 **Диагностика слоистых структур в ионосфере Венеры по данным двухчастотного радиопросвечивания. Гаврик А.Л., Гаврик Ю.А., Копнина Т.Ф., Кулешов Е.А., Смыслов А.А. Космическая радиолокация. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, проводимой в рамках III Всероссийских Арmandовских чтений, Муром, 25–27 июня 2013 г.** Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2013, с. 58-63. Рус.

Представлен метод диагностики многослойных структур в ионосфере Венеры по данным двухчастотного радиопросвечивания. Приведены экспериментальные данные о колебаниях электронной концентрации вблизи нижней границы дневной ионосферы Венеры.

19.05-01.464 **Характеристики распределения электронов в ночной ионосфере Венеры по данным радиопросвечивания. Гаврик А.Л., Копнина Т.Ф., Смыслов А.А. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VII Всероссийских Арmandовских чтений, Муром, 27–29 июня 2017 г.** Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2017, с. 116-123. Рус.

Исследованы свойства ночной ионосферы Венеры на основе данных двухчастотного радиопросвечивания миссии Венера-15, -16. Высокая точность анализа свойств ионосферы обеспечена высокой стабильностью и когерентностью радиоволн диапазонов 32 см и 8 см.

19.05-01.465 **Исследование поверхности и строения грунта Луны многоцелевым радиофизическим комплексом РЛК-Л в проекте "Луна-Ресурс". Смирнов В.М., Юшкова О.В., Марчук В.Н., Дутышев И.Н., Чернышев В.В., Лаптев М.А. Современные**

проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VII Всероссийских Арmandовских чтений, Муром, 27–29 июня 2017 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2017, с. 124-128. Рус.

Подповерхностное зондирование лунного грунта и определение электрофизических характеристик лунного грунта методами радиолокационного зондирования в локальном и региональном масштабах.

19.05-01.466 **Радиопросвечивание в миссии Венера-Д: концепция радиосистемы и методов для получения новых сведений об атмосфере и ионосфере Венеры. Гаврик А.Л., Коломиец С.Ф., Гаврик Ю.А., Копнина Т.Ф., Илюшин Я.А. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы II Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VIII Всероссийских Арmandовских чтений, Муром, 26–28 июня 2018 г.** Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018, с. 270-275. Рус.

Изложена базовая концепция инструментов, методика измерения и новая математическая модель, лежащая в основе обработки данных, предусматривающая их возможную реализацию в миссии Венера-Д. Отмечается, что эксперименты радиопросвечивания, выполненные с оптимально подобранными параметрами радиочастотной подсистемы, могут проложить путь к новым и важным выводам.

19.05-01.467 **Электрофизическая модель грунта Луны. Юшкова О.В., Кибардина И.Н., Юшков В.В. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы II Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VIII Всероссийских Арmandовских чтений, Муром, 26–28 июня 2018 г.** Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018, с. 295-300. Рус.

На основе анализа имеющихся в литературе результатов лабораторных измерений диэлектрических характеристик образцов лунного грунта, доставленных на Землю в ходе миссий «Луна» и «Аполло», разработана электрофизическая модель верхнего слоя грунта Луны. Модель может использоваться для численного моделирования процесса радиозондирования грунта Луны, при подготовке программы проведения радиолокационных экспериментов, прогноза и интерпретации данных натурных измерений.

19.05-01.468 **Исследование зональной циркуляции атмосферы Венеры по данным анализа радиозатменных измерений спутников "Венера-15 и -16". Губенко В.Н., Кириллович И.А. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы II Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондиро-**

вания сред, проводимой в рамках VIII Всероссийских Армандовских чтений, Муром, 26–28 июня 2018 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018, с. 350-360. Рус.

Вертикальные профили температуры и давления, полученные из радиозатменных измерений спутников "Венера-15 и 16", проведенных в период с октября 1983 года по сентябрь 1984 года, используются для анализа скорости ветра в атмосфере Венеры. Найдены высотные и широтные зависимости зональной скорости ветра в средней атмосфере для Северного и Южного полушарий планеты на высотах от 50 до 80 км в интервале широт от 60 до 85°. Зональные скорости определялись в предположении циклострофического баланса атмосферы. Установлено, что струйное течение с максимальной скоростью ~100 м/с, ось которого расположена вблизи уровня 60 км на широтах 73–75°N, реально существует в Северной приполярной атмосфере планеты. Результаты определения скорости ветра в Южном полушарии четко показывают, что струйное течение здесь расположено на высоте около 62 км в интервале широт от 70 до 72°S, а величина максимума зональной скорости достигает ~115 м/с. Обнаружено, что указанные джеты в высоких широтах обусловлены наличием отрицательных широтных градиентов температуры на высотах ниже осей струйных течений в приполярной атмосфере Венеры.

19.05-01.469 Методика обработки измерений планетного радиолокатора РТ-70 в сеансах радиолокации планеты Венера в 2012 году. *Захаров А.И., Захарова Л.Н., Набатов А.С., Синило В.П., Сорочинский М.В.* Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы II Всероссийской научной конференции по проблемам радиопизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VIII Всероссийских Армандовских чтений, Муром, 26–28 июня 2018 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018, с. 504-512. Рус.

После 20-летнего перерыва в Евпатории были возобновлены радиолокационные наблюдения планет с помощью модернизированного радиолокатора на базе антенны РТ-70. Одной из особенностей работ по радиолокации в 2012 году была новая схема коррекции доплеровского искажения сигнала, заключающаяся в том, этот вид искажения устранялся после регистрации сигнала. Выполнены измерения дальности до Венеры в районе нижнего соединения с Землёй. Результаты радиолокационных наблюдений подтверждают работоспособность аппаратуры радиолокатора и наземного математического обеспечения обработки сигналов.

19.05-01.470К Рисунки на песке. *Козаков М.М.* М.: Изд-во АСТ. 2019, 592 с. ISBN 978-5-17-112213-3

19.05-01.471 Спутниковая навигация окололунных космических аппаратов и объектов на поверхности Луны. *Мижрин Е.Л., Михайлов М.В., Орловский И.В., Рожков С.П., Краснопольский И.А.* Гиропскопия и навигация. 2019, 27, № 1, с. 22-31. Рус.

Предложена концепция построения глобальной навигационной спутниковой системы Луны (ГНССЛ) с опорой на существующую навигационную инфраструктуру глобальной навигационной системы ГЛОНАСС. В основе предложенного решения — создание орбитальной группировки (ОГ) навигационных спутников (НС) вокруг Земли, обслуживающих как окололунные космические аппараты, так и объекты на лунной поверхности. Исследованы два варианта развертывания ОГ. Проведено моделирование решения навигационной задачи в окрестностях Луны по сигналам предложенной ГНССЛ. Получена оценка точности навигационного решения для всех классов потребителей.

19.05-01.472 Вечное молчание Вселенной? *Ефремов Ю.Н.* Природа. 2019, № 7, с. 3-11. Рус.

Статья посвящена одной из самых трудных проблем в современной науке — поискам жизни, и прежде всего разумной жизни во Вселенной. Ныне вокруг звезд обнаружено свыше 4 тыс.

планет. И это триумф нынешней науки. Поиски планет будут продолжаться на вступающих в строй новых орбитальных телескопах. Однако пока мы одни во Вселенной, и это позволяет давать самые разные объяснения. Вполне возможно, что результаты деятельности инопланетян мы уже наблюдаем в окрестностях далеких звезд, но не осознаем этого. Так или иначе, ныне среди ученого мира есть сторонники и наличия, и отсутствия жизни вне Земли. В статье описываются некоторые странные конфигурации в других галактиках, происхождение которых остается непонятным, и современные дискуссии о возможности разумной жизни в других мирах.

19.05-01.473 Моделирование силового и эрозионного воздействия ионного пучка на крупный объект космического мусора техногенной природы. *Надирадза А.Б., Обухов В.А., Покрышкин А.И., Попов Г.А., Светина В.В.* Известия Российской академии наук. Энергетика. 2016, № 2, с. 146-157. Рус.

Метод увода крупногабаритных объектов космического мусора (ОКМ) воздействием на него ионным пучком может быть чрезвычайно эффективным, особенно применительно к удаленной ОКМ из области геостационарной орбиты (ГСО). Однако данный метод сопряжен с рядом серьезных проблем, обусловленных эффектами взаимодействия ионного пучка с поверхностью ОКМ. Проведено моделирование силового и эрозионного воздействия на ОКМ слабо расходящимся ионным пучком ксенона с током 0,5 А и энергией 4 кэВ. В качестве ОКМ техногенной природы принят модельный объект с геометрией, характерной для геостационарных КА связи массой 2–3 тонны. Рассчитано, что в зависимости от ориентации ОКМ, трансверсальная компонента силы, действующей на ОКМ, может составлять от 70% и более от тяги ионного пучка. Моменты, обусловленные воздействием ионного пучка на ОКМ, на три порядка величины выше, чем возмущающие моменты от действия "естественных" факторов: гравитационной силы, солнечного давления, геомагнитной силы. При расстоянии между сервисным космическим аппаратом (СКА) и ОКМ, равным 40 м, толщина распыленного материала, осаждаемого на элементы конструкции СКА, может достигать несколько десятков микрон за время транспортировки ОКМ 10 суток.

19.05-01.474 Рациональные характеристики солнечной энергетической установки космического аппарата с ЭРДУ при прямом выведении на гелиоцентрическую орбиту для исследования Солнца. *Константинов М.С., Мин Т.* Известия Российской академии наук. Энергетика. 2018, № 3, с. 93-105. Рус.

В проекте "Интергелио-Зонд" предполагается выведение космического аппарата на гелиоцентрическую орбиту с относительно низким перигелием и большим наклоном к плоскости эклиптики для исследования Солнца. В настоящей работе анализируется возможность использования электроракетной двигательной установки (ЭРДУ) в проекте "Интергелио-Зонд" и схема полета, не предполагающая использование гравитационных маневров. Анализируются оптимальные характеристики транспортной системы (удельный импульс и тяга ЭРДУ, мощность солнечной энергетической установки), как функции удельной массы солнечной электроракетной двигательной установки и КПД ЭРДУ. Показано, что транспортная система на базе ракеты-носителя "Союз-2.1б", химического разгонного блока "Фрегат", ЭРДУ с удельным импульсом 3000 с при удельной массе 20 кг/кВт и КПД 0.7 на рабочую гелиоцентрическую орбиту может вывести КА с массой полезной нагрузки почти 900 кг. При этом оптимальная мощность солнечной энергетической установки немного меньше 7.1 кВт, оптимальная тяга ЭРДУ 337 мН. Проанализированный вариант схемы перелета можно рассматривать как возможную альтернативную схему при реализации проекта "Интергелио-Зонд".

19.05-01.475 Эффекты эрозионного и загрязняющего воздействия при уводе объектов космического мусора ионным пучком. *Надирадза А.Б., Обухов В.А., Рахматуллин Р.Р., Светина В.В.* Известия Российской академии наук. Энергетика. 2018, № 3, с. 131-139. Рус.

Рассмотрены эффекты эрозионного и загрязняющего воздействия при уводе крупногабаритных объектов космического му-

сора (ОКМ) воздействием на них ионным пучком. Представлены результаты расчетов глубины эрозии материалов ОКМ и уровня загрязнения сервисного космического аппарата (СКА) при использовании ионного пучка ксенона клиновидной формы с током ионов 0.5 А, энергией ионов 4 кэВ и полууглами расходимости в двух взаимно перпендикулярных направлениях 3 и 0.3°. В качестве ОКМ техногенной природы рассмотрен модельный объект с геометрией, характерной для геостационарных КА связи массой 1.5–2 т. Получено, что глубина эрозии поверхности ОКМ находится в диапазоне 10–200 мкм, и существует реальная опасность разрушения материалов ОКМ и образования вторичных частиц космического мусора. Уровень загрязнения СКА за все время его работы (10–20 циклов увода) достигает $1.2 \cdot 10^{-4}$ г/см², что становится проблемой при реализации способа увода ОКМ ионным пучком.

19.05-01.476 Механическое воздействие ионного пучка на крупный объект космического мусора техногенной природы. *Надирадзе А.Б., Разматуллин Р.Р., Обухов В.А., Светичина В.В. Известия Российской академии наук. Энергетика.* 2019, № 3, с. 110-121. Рус.

Метод увода крупногабаритных объектов космического мусора (ОКМ) воздействием на него ионным пучком (IonShepherd) может быть чрезвычайно эффективным, особенно применительно к удалению ОКМ из области геостационарной орбиты (ГСО). Однако данный метод сопряжен с рядом серьезных проблем, обусловленных эффектами взаимодействия ионного пучка с поверхностью ОКМ. В данной работе проведено моделирование механического воздействия на ОКМ слабо расходящегося ионного пучка ксенона с током 0.5 А и энергией 4 кэВ. В качестве ОКМ техногенной природы рассмотрен разгонный блок «Бриз-М». Исследовано влияние точности прицеливания ионного пучка и коэффициентов аккомодации материалов внешней поверхности ОКМ на величины возмущающих усилий и моментов, действующих на ОКМ. Показано, что даже небольшие отличия коэффициентов аккомодации реального материала от идеального, при котором взаимодействие происходит в режиме полного поглощения импульса, приводят к возникновению боковой силы, способной за время увода сместить ОКМ на сотни километров от его начального положения. Погрешность в прицеливании ионного пучка приводит к возникновению значительных крутящих моментов, способных привести к вращению ОКМ с угловой скоростью до 1–2 оборотов в секунду.

19.05-01.477 Методология и результаты исследования системы "человек—короткорядиусная центрифуга" с имитацией факторов гипогравитации Луны и Марса. *Акулов В.А. Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* 2018. 20, № 6-2, с. 261-269. Рус.

Излагается методология исследований систем «человек—короткорядиусная центрифуга», предназначенных для имитации факторов гипогравитации Луны и Марса в наземных условиях и выявления скрытых закономерностей состояний человека. Специфику и новизну методологии составляют: двунаправленность исследований — пилотируемая космонавтика и гравитационная терапия; авторская информационно-аналитическая система, обеспечивающая вычисление индивидуальных режимов вращения в зависимости от целенаправленности эксперимента; сочетание экспериментальных и теоретических методов исследований с построением упрощенных математических моделей, доступных широкому кругу пользователей; двухточечный доступ для количественной оценки гемодинамики по схеме «рука—лодыжка».

19.05-01.478 О некоторых заблуждениях в космологии. Ньютон или Эйнштейн? *Бураго С.Г. Естественные и технические науки.* 2019, № 3, с. 23-27. Рус.

С помощью закона всемирного тяготения и явления инерции получены формулы количественного определения расширения световой волны, удаляющейся от массивного компактного тела и для искривления светового луча, проходящего непосредственно около поверхности Солнца. Оказалось, достаточно учесть, что луч света, состоящий из фотонов света, обладает массой непрерывно распределенной по длине волны света (движущиеся фотоны обладают массой). Известно, что аналогичные формулы были получены ранее в теории относительности Эйн-

штейна. Они явились как бы экспериментальным доказательством справедливости этой теории, но привели астрофизиков к нелепому выводу об искривлении пространства около массивных тел, противоречащему земной практике человечества. На самом деле искривляется луч света, а не пространство.

19.05-01.479 Опытное свидетельство о космической газообразной темной материи Вселенной. *Бураго С.Г. Естественные и технические науки.* 2019, № 3, с. 28-32. Рус.

В научной литературе утверждается, что 96% общего количества вещества во Вселенной составляет, так называемая, темная материя. Она не имеет ни запаха, ни вкуса, ее невозможно взвесить, исследовать ее химические и физические свойства. Ее существование астрофизика обуславливает фоновым излучением радиоволн. Кроме этого, о ней достоверно ничего не известно. Наш анализ известного Эффекта Черенкова П.А. подтвердил, что космическая темная материя находится в газообразном состоянии. При движении быстрых электронов перед ними, как в обычном газе при движении тел со сверхзвуковой скоростью, возникают скачки уплотнения. Скорость распространения слабых возмущений в газообразной темной материи равна скорости света в пустоте. Пустоты в пространстве не существуют. Оно заполнено темной газообразной материей.

19.05-01.480 Влияние солнечной активности на сейсмичность Земли. *Тарасов Н.Т. Инженерная физика.* 2019, № 6, с. 23-33. Рус.

Изучено влияние магнитных бурь (SSC) на глобальную сейсмичность Земли. Пока зано, что после SSC происходит уменьшение количества землетрясений на 2%. Однако, понижение сейсмичности начинается за 2–3 сут до SSC, что совпадает со временем распространения солнечной плазмы до Земли. Это позволило предположить, что изменение сейсмичности вызвано электромагнитным излучением Солнца (ЭИС). Поэтому изучено изменение сейсмичности после всплесков интенсивности ЭИС в радиочастотном диапазоне, которая является мерой его ионизирующего излучения. Показано, что после всплесков ЭИС происходит резкое статистически значимое уменьшение количества землетрясений на 5%, которое совпадает с ними по времени. Одновременно наблюдается повышение энергии землетрясений.

19.05-01.481 Устойчивость коллапса массивных звезд. *Калашиков И.Ю., Смирнова Н.С., Шардонне П.Д. Ученые записки физического ф-та МГУ.* 2019, № 4, <http://uzmu.phys.msu.ru/toc/2019/> 4. Рус.

Было проанализировано автомодельное решение, описывающее коллапс ядра массивной звезды с потерями энергии на нейтринное излучение. Рассматриваются два механизма эмиссии: УРКА-процесс и парная эмиссия нейтрино. Показано, что нет условий, при которых коллапс ядра очень массивной звезды может оставаться устойчивым, в то время как для менее массивной звезды это возможно. Используя полученные соотношения мы обнаружили характерные особенности возникновения неустойчивости, показав тем самым, что она может привести к неоднородному взрыву сверхновой.

19.05-01.482 Компактные звезды с модифицированным уравнением Толмана—Оппенгеймера—Волкова в теории гравитации Гаусса—Бонне. *Шамир М.Ф., Наз Т.Ж. эксперим. и теор. физ.* 2019. 155, № 6, с. 1029-1036. Рус.

В рамках модели $f(G)$ -гравитации с использованием модифицированного уравнения Толмана—Оппенгеймера—Волкова исследуются компактные звезды. Уравнения гидростатического равновесия рассмотрены в контексте $f(G)$ -гравитации. Профили плотности энергии, давления и массы звезд исследованы с помощью двух разных моделей уравнений состояния, $\rho = \omega r^{5/3}$ и $\rho = a(\rho - 4b)$, где ρ — плотность энергии, ω , a и b — конкретные постоянные. В модели, для которой $f(G) = \alpha G^2$, где α — произвольная постоянная, обсуждаются физические характеристики компактных объектов при различных значениях параметра модели α . Оказалось, что в рамках $f(G)$ -модели гравитации нейтронные и странные звезды следуют принятым физическим сценариям, причем полученные нами результаты согласуются с результатами, доступными в литературе.

19.05-01.483 Спин-орбитальное резонансное движе-

ние спутника с гибкими вязкоупругими стержнями на эллиптической орбите. *Садовникова Е.В., Шатина А.В. Прикл. мат. и мех.* 2019. 83, № 1, с. 32-38. Рус.

Изучается плоское вращательное движение спутника в центральном ньютоновском поле сил на эллиптической орбите. Спутник моделируется динамически симметричным твердым телом с жестко прикрепленными по оси симметрии гибкими вязкоупругими стержнями. При отсутствии деформаций в стержнях центральный эллипсоид инерции спутника представляет собой сферу. Получена усредненная система уравнений возмущенного движения вблизи резонанса 1:1 при малых значениях эксцентриситетов. Обоснован захват в спин-орбитальный резонанс 1:1.

19.05-01.484 Влияние ориентации межпланетного магнитного поля на северно-южную асимметрию унч волновых пакетов в полярных шапках. *Гульельми А.В., Потапов А.С., Довбня Б.В. Геофизические исследования.* 2019. 20, № 2, с. 19-27. Рус.

Поставлен вопрос о влиянии ориентации межпланетного магнитного поля (ММП) на северно-южную асимметрию вероятности появления ультранизкочастотных (УНЧ) дискретных волновых пакетов P_1 в полярных шапках. Длительность рассматриваемых сигналов составляет от нескольких единиц до десятков минут; частота лежит в диапазоне от десятых долей герца до нескольких герц, снижаясь от переднего фронта сигнала к заднему. В зависимости от ориентации вектора ММП в вертикальной плоскости область так называемого форшока (области перед околосемным ударным фронтом, в которой силовые линии ММП пронизывают фронт) располагается к югу или к северу от плоскости геомагнитного экватора. На основе анализа данных антарктической обсерватории "Восток" показано, что в южной полярной шапке вероятность наблюдения P_1 примерно в два раза выше при южной ориентации форшока, чем при северной. Результат свидетельствует, что, по крайней мере, заметная часть волновых пакетов P_1 проникает в магнитосферу из межпланетной среды.

19.05-01.485 Структура рельефа и гравитационного поля планет: правило Каулы — следствие законов теории вероятностей А.Н. Колмогорова и его школы. *Гледзер Е.В., Голицын Г.С. Доклады академии наук.* 2019. 485, № 4, с. 493-496. Рус.

Более 50 лет известно эмпирическое правило Каулы: коэффициенты разложения по сферическим гармоникам флуктуаций гравитационного поля планет и рельефа их поверхностей убывают как квадрат номера гармоники. Это было найдено также для Венеры, Луны, Марса, астероида Веста и совсем мелких небесных тел. Обратные квадратичные линейные спектры найдены и для различных типов участков земной поверхности в масштабах до сотни километров. Отсюда следует, что спектры углов наклонов рельефа постоянны, т.е. являются "белым шумом". Тогда они d -коррелированы по горизонтали. Именно в этих предположениях выведены законы случайных блужданий А.Н. Колмогорова 1934 г. Используя их, выводится уравнение диффузии вероятности рельефа по горизонтали с линейным коэффициентом диффузии D . По эмпирическим данным для Земли величина $D=1,3\pm 0,3$ м, а для Венеры почти на порядок меньше. Уклоны сопротивляются ветру, вдоль них сыплется порода, течёт вода. Данное рассмотрение превращает правило Каулы в закон случайных блужданий (по рельефу) Колмогорова 1934 г.

19.05-01.486 Комментарий к СРТ-симметричной Вселенной: два возможных расширения. Comment to the СРТ-symmetric Universe: Two possible extensions. *Volovik G.E. Письма в ЖЭТФ.* 2019. 109, № 10, с. 705-706. Англ.

In L. Boyle, K. Finn, N. Turok, Phys. Rev. Lett., 121 (2018), 251301; L. Boyle, K. Finn, N. Turok, arXiv: 1803.08930 the antispacetime Universe was suggested as the analytic continuation of our Universe across the Big Bang singularity in conformal

time. We consider two different scenarios of analytic continuation. In one of them the analytic continuation is extended to the temperature of the system. This extension suggests that if such analytic continuation is valid, then it is possible that the initial stage of the evolution of the Universe on our side of the Big Bang was characterized by the negative temperature. In the second scenario, the analytic continuation is considered in the proper time. In this scenario the Big Bang represents the bifurcation point at which the Z_2 symmetry between the spacetime and antispacetime is spontaneously broken. The extension of the Universe beyond the Big Bang using the analytic continuation across the singularity has been considered for the radiation-dominated epoch. In this analytic continuation, at which the scale factor $a(\tau)$ changes sign at $\tau=0$, the gravitational tetrads also change sign giving rise to what is called the antispacetime. This means that the Universe on the other side of the Big Bang is the mirror image of the Universe on our side of the Big Bang. Different types of the antispacetime obtained by the space reversal P and time reversal T operations were considered earlier, including those where the determinant of the tetrads e changes sign. Later the consideration has been extended to thermal states, where possible analytic continuation of the temperature across the transition from spacetime to antispacetime has been considered [G. E. Volovik, Pis'ma v ZhETF, 109 (2019), 10, arXiv: 1806.06554]. Here we discuss two scenarios of analytic continuation across the Big Bang.

19.05-01.487 Расчет возмущенной импульсной траектории перелета между околосемной и околосемной орбитами методом продолжения по параметру. *Петушов В.Г., Чжоу Ж. Вестник Московского авиац. ин-та.* 2019. 26, № 2, <http://vestnikmai.ru/publications.php?ID=104887>. Рус.

Предлагается новый метод решения задачи расчета возмущенной двухимпульсной траектории перелета за заданное время между круговыми околосемной и околосемной орбитами заданной высоты и наклона. На всех участках траектории учитываются ускорения сил притяжения Земли, Луны и Солнца как точечных масс и ускорение от второй зональной гармоники геопотенциала. Расчет траектории перелета сводится к решению двухточечной краевой задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Разработанный метод основан на методе продолжения и не требует начального приближения для решения краевой задачи.

19.05-01.488 Использование тяжелого космического аппарата с двигателями малой тяги для отклонения астероида от опасной траектории. *Николаева Е.А., Старикова О.Л. Вестник Московского авиац. ин-та.* 2019. 26, № 2, <http://vestnikmai.ru/publications.php?ID=104896>. Рус.

Работа посвящена методу защиты Земли с использованием космического аппарата (КА) с двигателями малой тяги. Разработана математическая модель управления движением астероида и КА с учетом гравитационного воздействия Солнца, Земли, астероида и космического аппарата. Разработан программный комплекс, предназначенный для моделирования и визуализации траекторий движения. Полученные результаты подтверждают возможность отклонения астероида от опасной траектории с использованием гравитационного притяжения космического аппарата.

19.05-01.489 Об одном экстремальном свойстве орбит в Солнечной системе. *Прошкин В.А. Вестник МГУ. Сер. 1: Математика. Механика.* 2019, № 3, с. 75-79. Рус.

Показано, что большие полуоси орбит соседних планет и орбит крупных спутников некоторых планет Солнечной системы близки к радиусам орбит в оптимальных решениях задачи об одноимпульсном перелете в планетной системе с круговой орбиты на бесконечность с гравитационным маневром.

См. также 19.05-01.442, 19.05-01.443, 19.05-01.444, 19.05-01.450, 19.05-01.452, 19.05-01.454, 19.05-01.455, 19.05-01.456, 19.05-01.457, 19.05-01.458, 19.05-01.459

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- B**
 Bandyopadhyay A. 19.05-01.453
 Bao Anyu 19.05-01.401
 Baohong Bai 19.05-01.326
- C**
 Chao Wang 19.05-01.60
 Chen Bao 19.05-01.401
 Chen Zhengwu 19.05-01.81
 Chudnikov V.V. 19.05-01.186
- D**
 Das K.P. 19.05-01.453
 Dyabirov R.M. 19.05-01.186
- F**
 Fadeyev A.A. 19.05-01.395
 Fadeyev D.R. 19.05-01.395
- G**
 Gryazev V. 19.05-01.55
 Gurbatov S.N. 19.05-01.3K,
 19.05-01.4K, 19.05-01.22K
- H**
 Hao Yan 19.05-01.57
 Hedberg C.M. 19.05-01.3K
 Hongli Li 19.05-01.57
 Hou Feng 19.05-01.272
 Huang Wenchao 19.05-01.272
- I**
 Ivanova Yu.I. 19.05-01.395
- K**
 Karabasov S.A. 19.05-01.55
 Kirane M. 19.05-01.111
 Kotani S. 19.05-01.231
- L**
 Loza V.M. 19.05-01.305
 Lu Bo 19.05-01.380
- M**
 Markestijn A.P. 19.05-01.55
- N**
 Nikiforov M.M. 19.05-01.305
 Novikov B.K. 19.05-01.20K
- P**
 Pampukha I.V. 19.05-01.305
 Pan Kai 19.05-01.272
 Paul A. 19.05-01.453
- Q**
 Qian Wen 19.05-01.60
 Qiang Peng 19.05-01.60
- R**
 Rogozinsky G.G. 19.05-01.395
 Rudenko O.V. 19.05-01.1K,
 19.05-01.2K, 19.05-01.3K,
 19.05-01.4K, 19.05-01.5K,
 19.05-01.19K, 19.05-01.20K,
 19.05-01.22K
- S**
 Saichev A.I. 19.05-01.4K
 Serdyukov A.N. 19.05-01.454
 Serdyukova M.A. 19.05-01.454
 Shakhtarin B.I. 19.05-01.186
 Shcherbina S.V. 19.05-01.305
 Shevtsov A.G. 19.05-01.305
 Shuhai Zhang 19.05-01.64
 Smirnov A.V. 19.05-01.395
 Soluyan S.I. 19.05-01.5K,
 19.05-01.19K
- T**
 Timoshenko V.I. 19.05-01.20K
 Torebek B.T. 19.05-01.111
- V**
 Volovik G.E. 19.05-01.486
- W**
 Wang Xiansheng 19.05-01.380
 Wang Xunnian 19.05-01.81
 Wenchao Huang 19.05-01.57
 Wu Junqiang 19.05-01.380
- X**
 Xiaodong Li 19.05-01.326
 Xingqiang Liu 19.05-01.57
- Y**
 Yang Dangguo 19.05-01.380
 Yimin Wang 19.05-01.64
- Z**
 Zhang Jun 19.05-01.81
 Zhang Junlong 19.05-01.81
 Zhou Fangqi 19.05-01.380
 Zhou Guocheng 19.05-01.401
- A**
 Абалакин И.В. 19.05-01.62,
 19.05-01.67, 19.05-01.73,
 19.05-01.276
 Аббакумов К.Е. 19.05-01.137
 Абдикаримов Р.А. 19.05-01.96
 Абдрашитов Р.Г. 19.05-01.268
 Абзалилов И.А. 19.05-01.266
 Абрамова О.А. 19.05-01.78
 Аветисян А.С. 19.05-01.128
 Агишева У.О. 19.05-01.123
 Агрузов П.М. 19.05-01.140
 Адян С.И. 19.05-01.24
 Айгожиева А.К. 19.05-01.413
 Акимов П.Л. 19.05-01.435
 Акиншин Р.В. 19.05-01.53
- Аксенов А.А. 19.05-01.332
 Акуличев В.А. 19.05-01.181,
 19.05-01.182
 Акулов В.А. 19.05-01.477
 Алейник А.С. 19.05-01.155
 Александров В.А. 19.05-01.299
 Александров В.Г. 19.05-01.72
 Александров В.Ю. 19.05-01.217
 Алексеев Г.Г. 19.05-01.202
 Алексеев С.В. 19.05-01.392
 Алексеев С.Г. 19.05-01.129
 Алексеева Е.А. 19.05-01.202
 Алексенцев А.А. 19.05-01.248,
 19.05-01.254, 19.05-01.355
 Алимбаев Б.А. 19.05-01.432
 Аманбаев Е.Н. 19.05-01.432
 Амелькин Н.И. 19.05-01.455,
 19.05-01.456
 Андреев В.Г. 19.05-01.9K,
 19.05-01.10K
 Андреев Н.Н. 19.05-01.24
 Аникин В.М. 19.05-01.26
 Анисимов К.С. 19.05-01.282
 Аношкин А.Н. 19.05-01.279,
 19.05-01.334, 19.05-01.360
 Антонов С.Н. 19.05-01.151
 Аптекарь Р.Л. 19.05-01.443
 Арефьев К.Ю. 19.05-01.217
 Армянинов И.С. 19.05-01.440
 Аронов Л.А. 19.05-01.148
 Арсланова Р.Р. 19.05-01.114
 Артельный В.В. 19.05-01.68
 Архиреева Е.Ю. 19.05-01.288
 Асеев А.Л. 19.05-01.23
 Афанасьев А.А. 19.05-01.100,
 19.05-01.303
 Ахатов И.Ш. 19.05-01.78
 Ахметсафин Р.Д. 19.05-01.306
 Ахметсафина Р.З. 19.05-01.306
 Аширов А.Н. 19.05-01.155
 Аюпов Р.Ш. 19.05-01.63
- Б**
 Базаров А.Д. 19.05-01.302
 Базулин Е.Г. 19.05-01.89,
 19.05-01.388, 19.05-01.425
 Бакланов В.С. 19.05-01.277
 Балакин Р.А. 19.05-01.189
 Балашов В.А. 19.05-01.386
 Балашова А.А. 19.05-01.375
 Баринов И.Н. 19.05-01.84
 Барышева Д.В. 19.05-01.336
 Бахвалов П.А. 19.05-01.73
 Бедарев И.А. 19.05-01.218
 Бейшекеев К.К. 19.05-01.432
 Беклемишев Л.Д. 19.05-01.24
 Беклемышева К.А. 19.05-01.39
 Беликов В. 19.05-01.430
 Белинин Д.С. 19.05-01.438
 Белов В.Г. 19.05-01.329
 Белов В.Д. 19.05-01.382
 Белова Д.Д. 19.05-01.318
 Белоглазкин А.Н. 19.05-01.135
 Белубемян М.В. 19.05-01.128
 Беляев И.В. 19.05-01.251,
 19.05-01.252, 19.05-01.258
 Бендерский Л.А. 19.05-01.63,
 19.05-01.253
 Беркутов Р.Н. 19.05-01.193
 Берсенев Ю.В. 19.05-01.50,
 19.05-01.228, 19.05-01.254,
 19.05-01.262, 19.05-01.356,

- 19.05-01.357
Бескачко В.П. 19.05-01.419
Беспалов М.С. 19.05-01.315
Бобков В.Б. 19.05-01.67
Бобков В.Г. 19.05-01.73, 19.05-01.276
Боголюбов Б.Н. 19.05-01.195
Богомоллов Л.М. 19.05-01.141,
19.05-01.412
Богомоллов С.В. 19.05-01.142
Бойков Д.С. 19.05-01.39
Борзенко Е.И. 19.05-01.234
Борзунов С.В. 19.05-01.116
Борисевич В.Д. 19.05-01.233
Борминский С.А. 19.05-01.41
Боровкова А.М. 19.05-01.390
Борсуков А.В. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К
Босняков И.С. 19.05-01.74
Бочкарёв С.А. 19.05-01.94,
19.05-01.345
Бошняков Б.В. 19.05-01.174
Брагинская Л.П. 19.05-01.302
Братухин Ю.К. 19.05-01.136
Бритенков А.К. 19.05-01.35,
19.05-01.195
Брыкина И.Г. 19.05-01.159
Бугаева Л.К. 19.05-01.182
Булавинов А.Н. 19.05-01.389
Буланов В.А. 19.05-01.182
Булкин В.В. 19.05-01.309,
19.05-01.384, 19.05-01.409
Бульбович Р.В. 19.05-01.278,
19.05-01.312, 19.05-01.363
Бураго С.Г. 19.05-01.478,
19.05-01.479
Бурдаков Р.В. 19.05-01.50,
19.05-01.262, 19.05-01.355
Буренин А.В. 19.05-01.162
Буров В.А. 19.05-01.14К
Бутов С.Н. 19.05-01.204
Буторина М.В. 19.05-01.319
Буш Г.А. 19.05-01.206
Быков А.И. 19.05-01.120
Быков А.М. 19.05-01.443
Быков А.Н. 19.05-01.445
Быков Д.Л. 19.05-01.461К
Бычков А.В. 19.05-01.211
Бычков Е.В. 19.05-01.77
Бычков О.П. 19.05-01.51,
19.05-01.258, 19.05-01.266,
19.05-01.281, 19.05-01.335,
19.05-01.377, 19.05-01.378
Бычкова И.Ю. 19.05-01.211
- В**
Вавилов Д.С. 19.05-01.152
Вагин А.В. 19.05-01.137
Вакуленко С.П. 19.05-01.449
Ванг Дж.М. 19.05-01.239
Ванг Х. 19.05-01.239
Вань А. 19.05-01.117, 19.05-01.280
Варламов А.В. 19.05-01.140,
19.05-01.155
Варшалавич Д.А. 19.05-01.23
Васильев Е.И. 19.05-01.223
Вдовенко И.И. 19.05-01.122
Велихов Е.П. 19.05-01.23
Величко С.А. 19.05-01.257,
19.05-01.335
Вершков В.А. 19.05-01.62,
19.05-01.276
Вилков Г.И. 19.05-01.189
Вильбицкая Н.А. 19.05-01.417
Виноградов М.П. 19.05-01.459
Виноградова М.Б. 19.05-01.7К,
19.05-01.15К
Вискова Т.А. 19.05-01.262
Вихров Е.В. 19.05-01.448
Вишняков А.Н. 19.05-01.265,
19.05-01.408
Владимиров И.Ю. 19.05-01.293
Власов А.А. 19.05-01.155
Войтишина М.С. 19.05-01.245
Волков А.В. 19.05-01.74
Волков В.Т. 19.05-01.112
Волков С.С. 19.05-01.439
Волкова А.А. 19.05-01.183
Волобуев А.Н. 19.05-01.87
Володина Н.А. 19.05-01.222
Волосов К.А. 19.05-01.449
Волосова А.К. 19.05-01.449
Волосова Н.К. 19.05-01.449
Волошин А.С. 19.05-01.39
Вопилкин А.Х. 19.05-01.89,
19.05-01.425
Воронко А.И. 19.05-01.153
Воронцов В.И. 19.05-01.46
- Г**
Гаврик А.Л. 19.05-01.462,
19.05-01.463, 19.05-01.464,
19.05-01.466
Гаврик Ю.А. 19.05-01.462,
19.05-01.463, 19.05-01.466
Гаврилов А.А. 19.05-01.291
Гаврилюк В.Н. 19.05-01.332
Гаджиев М.Х. 19.05-01.435
Галаган П.В. 19.05-01.202
Галахов Н.Н. 19.05-01.437
Галимзянов М.Н. 19.05-01.122,
19.05-01.123
Ганиев Р.Ф. 19.05-01.91
Ганиев С.Р. 19.05-01.298
Ганченко П.В. 19.05-01.391
Гасилов В.А. 19.05-01.39
Гельт Т.Д. 19.05-01.9К, 19.05-01.10К
Герус Д.С. 19.05-01.433
Гестрин С.Г. 19.05-01.290
Гильмутдинов А.Х. 19.05-01.119
Гладилин А.В. 19.05-01.382
Глазачев Д. 19.05-01.442
Глазков С.А. 19.05-01.402
Глазов А.Л. 19.05-01.156
Глазунов А.В. 19.05-01.215
Гледзер Е.Б. 19.05-01.485
Глухов А.Ф. 19.05-01.143
Гойко В.Л. 19.05-01.447
Голенецкий С.В. 19.05-01.443
Голикова Е.В. 19.05-01.206
Голицын Г.С. 19.05-01.485
Голов А.А. 19.05-01.162, 19.05-01.181
Голубев А.Г. 19.05-01.200
Голубев А.Ю. 19.05-01.267,
19.05-01.287, 19.05-01.336,
19.05-01.338
Гомера В.П. 19.05-01.426
Гончаренко Б.И. 19.05-01.197
Гончаров С.С. 19.05-01.24
Гончарский А.В. 19.05-01.387,
19.05-01.388
Горбушин А.Р. 19.05-01.402
Гордеев Б.А. 19.05-01.107
Гордин В.А. 19.05-01.32
Городец А.В. 19.05-01.65
Горовой С.В. 19.05-01.321
Городкова Н.А. 19.05-01.262
Горчаков Г.И. 19.05-01.206
Горшков А.Б. 19.05-01.17
Гравин В.О. 19.05-01.200
Грегов И.В. 19.05-01.23
Григорьев А.И. 19.05-01.134,
19.05-01.139, 19.05-01.241,
19.05-01.451
Григорьев В.А. 19.05-01.166
Григорьев М.В. 19.05-01.90
Григорьева А.В. 19.05-01.426
Григорюк А.П. 19.05-01.302
Гриценко В.А. 19.05-01.169
Гриценко С.А. 19.05-01.106
Гришаева И.Н. 19.05-01.437
Груздев П.Д. 19.05-01.179
Губанов Д.А. 19.05-01.285
Губенко В.Н. 19.05-01.468
Гук Д.Е. 19.05-01.219
Гульельми А.В. 19.05-01.484
Гуляев О.А. 19.05-01.341
Гуляев Ю.В. 19.05-01.23
Гумеров Н.А. 19.05-01.78
Гурбатов С.Н. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К
Гусев А.В. 19.05-01.457
Гусев В.А. 19.05-01.164, 19.05-01.208
Гусев Е.С. 19.05-01.205
Гусейнов С.Ш. 19.05-01.452
Гуськов П.М. 19.05-01.375,
19.05-01.376
- Д**
Далин М.А. 19.05-01.427
Дамаскинская Е.Е. 19.05-01.412
Данилов В.Н. 19.05-01.90,
19.05-01.301
Даньков Б.Н. 19.05-01.288
Дегтярев В.В. 19.05-01.329
Демин И.Ю. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К
Демьянов М.А. 19.05-01.281
Денисов С.Л. 19.05-01.47,
19.05-01.161, 19.05-01.267,
19.05-01.333, 19.05-01.371,
19.05-01.372, 19.05-01.405
Дерябин М.С. 19.05-01.195
Джалилов Н.С. 19.05-01.452
Дженнискенс П. 19.05-01.442
Диденкулова И.И. 19.05-01.175
Дмитриев В.Г. 19.05-01.260,
19.05-01.311, 19.05-01.327
Дмитриев С.М. 19.05-01.173
Доброленский Ю.С. 19.05-01.148
Довбня Б.В. 19.05-01.484
Докукина О.И. 19.05-01.225
Долгих Г.И. 19.05-01.205
Долматов Д.О. 19.05-01.389
Долотовский А.В. 19.05-01.245
Дорожко В.М. 19.05-01.321
Дорошенко О.В. 19.05-01.43
Драгунов Д.Э. 19.05-01.127
Дубень А.П. 19.05-01.65, 19.05-01.66,
19.05-01.67
Дубинский С.В. 19.05-01.267,
19.05-01.270
Дубровский А.Ю. 19.05-01.187
Дугаров Г.А. 19.05-01.86
Дудин Г.Н. 19.05-01.292,
19.05-01.295, 19.05-01.297
Дудко О.В. 19.05-01.115
Дульнев А.И. 19.05-01.172
Дутьшев И.Н. 19.05-01.465
Дучков А.А. 19.05-01.86
Дьякова О.А. 19.05-01.234
Дьянов Д.Ю. 19.05-01.445
Дюсембаева А.Н. 19.05-01.300

Дядькин А.А. 19.05-01.332

Е

Е С.Ц. 19.05-01.458

Егорова Л.А. 19.05-01.159

Елесин В.В. 19.05-01.220

Елизаров С.В. 19.05-01.400

Ермаков В.Ю. 19.05-01.351

Ермолаев А.И. 19.05-01.107

Ерофеев В.И. 19.05-01.420

Ершов В.В. 19.05-01.48, 19.05-01.79,
19.05-01.312

Ершов Ю.Л. 19.05-01.24

Есикова Н.Б. 19.05-01.142

Еськова Е.А. 19.05-01.433

Ефимов И.Н. 19.05-01.418

Ефремов А.В. 19.05-01.232

Ефремов Ю.Н. 19.05-01.472

Ж

Жарёнов И.А. 19.05-01.267

Жарников Т.В. 19.05-01.385

Жданова Н.С. 19.05-01.62

Жигалкин А.С. 19.05-01.227

Жигалов А.Н. 19.05-01.436

Жиленко Д.Ю. 19.05-01.240

Жильцов К.Н. 19.05-01.174

Жолобов А.А. 19.05-01.436

Жостков Р.А. 19.05-01.138,
19.05-01.164, 19.05-01.208

Жуков А.Д. 19.05-01.90,
19.05-01.428

Жуков А.Е. 19.05-01.23

Жуков В.Б. 19.05-01.199

Журавель Г.М. 19.05-01.393

Жучков Р.Н. 19.05-01.76

З

Завольский Н.А. 19.05-01.167

Зайцев А.В. 19.05-01.409

Зайцев А.И. 19.05-01.173

Зайцев К.И. 19.05-01.338,
19.05-01.365

Зайцев М.Ю. 19.05-01.46,
19.05-01.47, 19.05-01.257

Закупин А.С. 19.05-01.141

Замтфорт Б.С. 19.05-01.251,
19.05-01.252, 19.05-01.261,
19.05-01.263, 19.05-01.314

Зарафутдинов И.А. 19.05-01.78

Заславский В.Ю. 19.05-01.317

Заславский Ю.М. 19.05-01.317

Засько Г.В. 19.05-01.215

Захаров А.И. 19.05-01.469

Захарова Л.Н. 19.05-01.469

Зверев А.Я. 19.05-01.82,
19.05-01.103, 19.05-01.381

Зеленцов В.В. 19.05-01.341

Зенченко Е.В. 19.05-01.413

Зенченко П.Е. 19.05-01.413

Зыбин К.П. 19.05-01.209,
19.05-01.210

Зябилов А.Х. 19.05-01.83

И

Ивакин В.В. 19.05-01.114

Иванов М.П. 19.05-01.204

Иванов С.В. 19.05-01.23, 19.05-01.97

Иванова Е.В. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К

Иванушкин Е.А. 19.05-01.269

Игнатъев В.И. 19.05-01.179

Иголкин А.А. 19.05-01.125

Ильгамов М.А. 19.05-01.92

Ильин А.С. 19.05-01.210

Ильин В.П. 19.05-01.322

Ильичев А.Т. 19.05-01.226

Ильичёв И.В. 19.05-01.140

Ильченко М.А. 19.05-01.217

Ильяшенко А.В. 19.05-01.93

Илюшин Я.А. 19.05-01.466

Иляхинский А.В. 19.05-01.420

Имашев С.А. 19.05-01.207,
19.05-01.307

Индейцев Д.А. 19.05-01.152

Иноземцев А.А. 19.05-01.248

Ионов И.А. 19.05-01.49,
19.05-01.361, 19.05-01.406

Ипатов М.С. 19.05-01.361,
19.05-01.362, 19.05-01.371,
19.05-01.403, 19.05-01.404,
19.05-01.406, 19.05-01.407

Исакаев Э.Х. 19.05-01.435

Исраилов М.Ш. 19.05-01.38

К

Кажан Е.В. 19.05-01.282

Казаков Л.И. 19.05-01.124

Казанский П.Н. 19.05-01.284,
19.05-01.377, 19.05-01.378

Калашников И.Ю. 19.05-01.481

Калёнов Е.Н. 19.05-01.187

Калита А.О. 19.05-01.343

Кальясов П.С. 19.05-01.68

Каменев С.И. 19.05-01.181

Каплянский А.А. 19.05-01.23

Капралов В.М. 19.05-01.350

Карабасов С.А. 19.05-01.46

Караваев Д.А. 19.05-01.302

Караджи В.Г. 19.05-01.339

Карлов С.А. 19.05-01.415

Карунакаран К.П. 19.05-01.438

Касаткин А.А. 19.05-01.316

Касаткин С.Б. 19.05-01.184

Качанов В.К. 19.05-01.88,
19.05-01.423

Кашуба А.С. 19.05-01.127

Кашенко С.А. 19.05-01.108

Каюм А. 19.05-01.348

Кешков Д.И. 19.05-01.379

Кибардина И.Н. 19.05-01.467

Кириллов И.Н. 19.05-01.309

Кириллова Е.В. 19.05-01.43

Кириллович И.А. 19.05-01.468

Кирпичников В.Ю. 19.05-01.369

Киселев Л.В. 19.05-01.176

Киселев Н.П. 19.05-01.285

Китанов М.Ю. 19.05-01.379

Клименко Д.В. 19.05-01.332

Ковалев А.В. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К

Ковалев Ю.М. 19.05-01.221

Ковалевский В.В. 19.05-01.302

Ковзель Д.Г. 19.05-01.169,
19.05-01.198

Козаков М.М. 19.05-01.470К

Козелков А.С. 19.05-01.76

Козицин И.В. 19.05-01.447

Козлова А.В. 19.05-01.443

Козлова Е.Ю. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К

Козубская Т.К. 19.05-01.62,
19.05-01.65, 19.05-01.66,
19.05-01.67, 19.05-01.73,
19.05-01.276

Койнов И.И. 19.05-01.368

Колбнева Н.Ю. 19.05-01.451

Колдоба А.В. 19.05-01.31

Колегов Р.Н. 19.05-01.264

Коломиец С.Ф. 19.05-01.466

Колтаков С.А. 19.05-01.203

Комкин А.И. 19.05-01.120

Кондратьев А.В. 19.05-01.424

Коновалов А.М. 19.05-01.429

Коновалов Н.Н. 19.05-01.201

Консон А.Д. 19.05-01.183

Константинов А.П. 19.05-01.157

Константинов М.С. 19.05-01.474

Концов Р.В. 19.05-01.88

Коньков А.И. 19.05-01.179

Копнин С.И. 19.05-01.133

Копнина Т.Ф. 19.05-01.463,
19.05-01.464, 19.05-01.466

Копысов С.П. 19.05-01.299

Копьев А.В. 19.05-01.209

Копьев В.А. 19.05-01.284,
19.05-01.377, 19.05-01.378

Копьев В.Ф. 19.05-01.30, 19.05-01.49,
19.05-01.51, 19.05-01.52,
19.05-01.53, 19.05-01.56,
19.05-01.58, 19.05-01.251,
19.05-01.257, 19.05-01.284,
19.05-01.286, 19.05-01.354,
19.05-01.357, 19.05-01.372,
19.05-01.377, 19.05-01.378

Копьев П.С. 19.05-01.23

Коренбаум В.И. 19.05-01.255,
19.05-01.321

Корин А.И. 19.05-01.357

Корин И.А. 19.05-01.50,
19.05-01.228, 19.05-01.356

Коробицына М.К. 19.05-01.342

Королев С.А. 19.05-01.439

Коротин П.И. 19.05-01.68

Короченцев В.И. 19.05-01.393

Корчагин Н.Н. 19.05-01.293

Косенко А.П. 19.05-01.288

Костенко В.М. 19.05-01.267,
19.05-01.270

Костив А.Е. 19.05-01.321

Котов А.Н. 19.05-01.338

Котов В.В. 19.05-01.337

Котов В.М. 19.05-01.153

Кравчук Д.А. 19.05-01.150

Краев И.Д. 19.05-01.359

Красенко Н.П. 19.05-01.188,
19.05-01.194

Красников Г.Я. 19.05-01.23

Красников И.А. 19.05-01.192

Красников С.В. 19.05-01.346

Краснов И.С. 19.05-01.427

Краснопольский И.А. 19.05-01.471

Крашенинников С.Ю. 19.05-01.54,
19.05-01.214, 19.05-01.254

Кривоносова О.Э. 19.05-01.240

Крицкий Б.С. 19.05-01.249,
19.05-01.276

Крыжановский С.П. 19.05-01.393

Крылова Н.А. 19.05-01.434

Кубышкин В.А. 19.05-01.387

Кугушев В.И. 19.05-01.429

Кудрявцев А.Н. 19.05-01.242

Кузнецов А.В. 19.05-01.125,
19.05-01.374

Кузнецов Г.Н. 19.05-01.190,
19.05-01.379

Кузнецов П.А. 19.05-01.221

Кузнецов С.В. 19.05-01.287

Кузнецова А.Д. 19.05-01.342

Кузькин В.М. 19.05-01.190

Кузьмин В.Г. 19.05-01.392
Куклин Д.А. 19.05-01.319
Кулаго А.Е. 19.05-01.135
Кулебакин А.И. 19.05-01.399
Кулешов Е.А. 19.05-01.462,
19.05-01.463
Куликовский А.Г. 19.05-01.226
Куличков С.Н. 19.05-01.206
Кундасев С.Г. 19.05-01.285
Купоросова И.С. 19.05-01.98
Курбатов А.Н. 19.05-01.411
Куриленко Ю.В. 19.05-01.320
Курилов В.Б. 19.05-01.259
Куркин А.А. 19.05-01.173
Курсаков И.А. 19.05-01.282
Кустов О.Ю. 19.05-01.48,
19.05-01.147, 19.05-01.229,
19.05-01.363, 19.05-01.367
Кутаков С.И. 19.05-01.379

Л

Лабзина Е.А. 19.05-01.394
Лавров В.Н. 19.05-01.271
Лаврухина М.П. 19.05-01.406
Ладонкина М.Е. 19.05-01.39
Лазарев Л.А. 19.05-01.273
Ланшин А.И. 19.05-01.243
Лаптев М.А. 19.05-01.465
Лебедев В.В. 19.05-01.140
Лебедев Ю.А. 19.05-01.393
Левин Е.К. 19.05-01.394
Ледовский А.В. 19.05-01.292
Лекомцев С.В. 19.05-01.94,
19.05-01.345
Лелюга О.В. 19.05-01.353
Леонова Л.Е. 19.05-01.204
Лепихова В.А. 19.05-01.417
Лесничий И.В. 19.05-01.244
Лесных Т.О. 19.05-01.381
Лесняк И.Ю. 19.05-01.121
Лех И.А. 19.05-01.419
Липинский Л.В. 19.05-01.397
Литовченко С.А. 19.05-01.341
Ло И. 19.05-01.146, 19.05-01.308
Лобачев М.П. 19.05-01.130
Ложкова Д.С. 19.05-01.427
Лузанов В.А. 19.05-01.129
Луковников А.В. 19.05-01.243
Лукьяненко Д.В. 19.05-01.112
Лукьянов В.Г. 19.05-01.414
Лунев В.В. 19.05-01.236
Луньков А.А. 19.05-01.166,
19.05-01.168
Лупов С.Ю. 19.05-01.392
Луценко В.И. 19.05-01.146,
19.05-01.308
Луценко И.В. 19.05-01.146,
19.05-01.308
Лыков Ю.В. 19.05-01.398
Лыкова А.А. 19.05-01.398
Лысенко А.Л. 19.05-01.443
Лысенков А.В. 19.05-01.282
Львов К.П. 19.05-01.180
Любимов А.К. 19.05-01.107
Любимов Д.А. 19.05-01.45,
19.05-01.63, 19.05-01.227,
19.05-01.253, 19.05-01.275,
19.05-01.340

М

Ма Й. 19.05-01.239
Майзель А.Б. 19.05-01.379

Макаров В.Е. 19.05-01.75,
19.05-01.310
Макаров В.Ф. 19.05-01.368
Макаров С.О. 19.05-01.136
Макашов С.Ю. 19.05-01.408
Максименков В.И. 19.05-01.364
Максимов В.В. 19.05-01.163
Максимов Е.А. 19.05-01.431
Максимова К.А. 19.05-01.279,
19.05-01.334, 19.05-01.360
Малеханов А.И. 19.05-01.167
Малец А.А. 19.05-01.158
Малик А. 19.05-01.348
Малый В.В. 19.05-01.28
Маматказин Т.Р. 19.05-01.440
Мамошин А.В. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К
Мамышев Д.Л. 19.05-01.253
Манапбаев Б.Ж. 19.05-01.432
Манульчев Д.С. 19.05-01.169
Марков А.А. 19.05-01.431
Мартиросов М.И. 19.05-01.104
Мартьянов П.С. 19.05-01.149
Марченко А.М. 19.05-01.447
Марчук В.Н. 19.05-01.465
Маслов В.Л. 19.05-01.382
Маслова Н.П. 19.05-01.311
Матвеев В.А. 19.05-01.257
Матвеев П.В. 19.05-01.319
Матиясевич Ю.В. 19.05-01.24
Медведев А.В. 19.05-01.176
Медведев В.Т. 19.05-01.390
Медведева Е.В. 19.05-01.197
Медведкина М.В. 19.05-01.445
Медведский А.Л. 19.05-01.61,
19.05-01.104
Мейрманов А.М. 19.05-01.106
Мелешенко П.А. 19.05-01.116
Мехоношин В.К. 19.05-01.40,
19.05-01.264
Мешков Е.Е. 19.05-01.219,
19.05-01.237
Микрин Е.Л. 19.05-01.471
Милешин В.И. 19.05-01.328
Милюков В.К. 19.05-01.458,
19.05-01.459
Мин Т. 19.05-01.474
Минг К.Дж. 19.05-01.239
Миргазов Р.М. 19.05-01.249,
19.05-01.276
Мирзоян А.А. 19.05-01.325
Миронов А.К. 19.05-01.254
Миронов А.П. 19.05-01.459
Мирсаидов М.М. 19.05-01.96
Мисочко О.В. 19.05-01.132
Михайлов М.В. 19.05-01.471
Михайлов С.А. 19.05-01.250
Михеев Г.Е. 19.05-01.241
Мищенко В.В. 19.05-01.393
Могилевич Л.И. 19.05-01.97
Модорский В.Я. 19.05-01.368
Моисеева В.Е. 19.05-01.92
Мокрецов Р.В. 19.05-01.237
Молод М.В. 19.05-01.364
Моралев И.А. 19.05-01.284,
19.05-01.377, 19.05-01.378
Моргунюв Ю.Н. 19.05-01.162,
19.05-01.181
Мордвинова В.В. 19.05-01.302
Мореев А.Ю. 19.05-01.179
Морозов М.В. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К
Морозов Н.Ф. 19.05-01.152
Морозова Т.И. 19.05-01.133
Мортиков Е.В. 19.05-01.215

Мотренко Д.В. 19.05-01.352
Мошков П.А. 19.05-01.271
Мубассарова А. 19.05-01.141
Мубассарова В.А. 19.05-01.412
Мугизова Е.А. 19.05-01.147
Муратиков К.Л. 19.05-01.152,
19.05-01.156
Мурзинов В.Л. 19.05-01.36
Мурин М.А. 19.05-01.242
Мухамедзянова М.М. 19.05-01.328
Мягков М.Г. 19.05-01.447
Мясников А.В. 19.05-01.459

Н

Набатов А.С. 19.05-01.469
Нагнибеда Е.А. 19.05-01.230
Надвоцкая В.В. 19.05-01.414
Надирадзе А.Б. 19.05-01.473,
19.05-01.475, 19.05-01.476
Наз Т. 19.05-01.482
Назаров С.А. 19.05-01.42
Наймарк О.Б. 19.05-01.412
Наквасин А.Ю. 19.05-01.114,
19.05-01.246
Нгуен Нгок Т. 19.05-01.350
Нейланд В.Я. 19.05-01.295,
19.05-01.297
Непомилуев В.В. 19.05-01.441
Неулыбин С.Д. 19.05-01.438
Нефедов Н.Н. 19.05-01.112
Нечепуренко Ю.М. 19.05-01.215
Нигматуллин Р.З. 19.05-01.330
Никитин О.Р. 19.05-01.394
Никитина Е.А. 19.05-01.420
Никишов А.И. 19.05-01.450
Николаев Д.И. 19.05-01.245,
19.05-01.313
Николаева Е.А. 19.05-01.488
Никулин Р.Г. 19.05-01.438
Новиков А.А. 19.05-01.121
Новикова С.А. 19.05-01.324
Новотрясов В.В. 19.05-01.170
Норкин Д.О. 19.05-01.447
Норкин М.В. 19.05-01.224
Нормунинов Б.А. 19.05-01.96
Нусупбеков Б.Р. 19.05-01.300

О

Обухов В.А. 19.05-01.473,
19.05-01.475, 19.05-01.476
Ожиганова М.И. 19.05-01.343
Олейников А.Ю. 19.05-01.319
Орлов И.Я. 19.05-01.392
Орловский И.В. 19.05-01.471
Оселедец Е.Ю. 19.05-01.315
Осипов А.А. 19.05-01.72
Осипов С.Д. 19.05-01.447
Осипов Ю.С. 19.05-01.24
Остапенко В.В. 19.05-01.70
Остриков Н.Н. 19.05-01.49,
19.05-01.71, 19.05-01.333,
19.05-01.354, 19.05-01.357,
19.05-01.361, 19.05-01.371,
19.05-01.372, 19.05-01.403,
19.05-01.404, 19.05-01.405,
19.05-01.406, 19.05-01.407
Оуян Х. 19.05-01.117
Охулков С.Н. 19.05-01.107

П

Павлоградский В.В. 19.05-01.356
Палкин Р.В. 19.05-01.447

- Пальчиковский В.В. 19.05-01.50,
19.05-01.79, 19.05-01.228,
19.05-01.356, 19.05-01.357,
19.05-01.363
- Паничкин А.В. 19.05-01.121
- Панков С.В. 19.05-01.328
- Панкратов А.Н. 19.05-01.35
- Панов С.Н. 19.05-01.80
- Пантелеев И.А. 19.05-01.141,
19.05-01.412
- Папин А.А. 19.05-01.99
- Папина К.В. 19.05-01.230
- Папков С.О. 19.05-01.178
- Папкина Ю.И. 19.05-01.178
- Паранин Г.В. 19.05-01.381
- Паршина Л.В. 19.05-01.105
- Пахов В.В. 19.05-01.250
- Пахомов М.А. 19.05-01.213
- Пахомов П.А. 19.05-01.420
- Пелиновский Е.Н. 19.05-01.173,
19.05-01.175
- Пентус М.Р. 19.05-01.24
- Первушин В.В. 19.05-01.423
- Перепелкин В.Г. 19.05-01.206
- Переселков С.А. 19.05-01.190
- Пермикина Е.В. 19.05-01.127
- Пермяков М.С. 19.05-01.170
- Петников В.Г. 19.05-01.166
- Петров А.А. 19.05-01.382
- Петров А.П. 19.05-01.396
- Петров В.В. 19.05-01.196
- Петров П.С. 19.05-01.162,
19.05-01.181
- Петрова А.П. 19.05-01.359
- Петрушов Н.А. 19.05-01.134
- Петухов В.Г. 19.05-01.487
- Пивоваров Ю.В. 19.05-01.212
- Пикалов М.Е. 19.05-01.275
- Пимштейн В.Г. 19.05-01.256
- Пинчук Р.В. 19.05-01.389
- Писарев П.В. 19.05-01.279,
19.05-01.334, 19.05-01.360
- Питюк Ю.А. 19.05-01.78
- Плаксин Г.М. 19.05-01.66
- Плешаков А.Н. 19.05-01.83
- Плотников М.Ю. 19.05-01.155
- Плохих А.П. 19.05-01.410
- Плохотников К.Э. 19.05-01.34
- Плунгян В.А. 19.05-01.24
- Повещенко Ю.А. 19.05-01.39
- Подаруев В.Ю. 19.05-01.282
- Подобная Е. 19.05-01.442
- Подрыга В.О. 19.05-01.39,
19.05-01.448
- Пожалостин А.А. 19.05-01.98,
19.05-01.347
- Покровский А.А. 19.05-01.187
- Покрышкин А.И. 19.05-01.473
- Полев А.С. 19.05-01.243
- Ползикова Н.И. 19.05-01.129
- Половнев А.Л. 19.05-01.365
- Польняков Н.А. 19.05-01.253
- Поляков С.В. 19.05-01.448
- Полякова А.С. 19.05-01.397
- Попель С.И. 19.05-01.133
- Попов А.Л. 19.05-01.118
- Попов В.А. 19.05-01.193
- Попов В.В. 19.05-01.445
- Попов В.П. 19.05-01.271
- Попов В.С. 19.05-01.97
- Попов Г.А. 19.05-01.410, 19.05-01.473
- Попов И.В. 19.05-01.33
- Попов И.К. 19.05-01.200
- Попов О.Е. 19.05-01.206
- Попов О.Ю. 19.05-01.268
- Попов П.А. 19.05-01.125,
19.05-01.373, 19.05-01.374
- Попов С.В. 19.05-01.36
- Попова О. 19.05-01.442
- Порошина Я.Э. 19.05-01.161
- Постников А.А. 19.05-01.275
- Потанин Е.П. 19.05-01.233
- Потапов А.И. 19.05-01.424
- Потапов А.С. 19.05-01.484
- Потокин Г.А. 19.05-01.287,
19.05-01.336
- Почкин Я.С. 19.05-01.358
- Преображенский М.Н. 19.05-01.201
- Преснов Д.А. 19.05-01.164,
19.05-01.179
- Преснякова А.Д. 19.05-01.398
- Припятинская Е.А. 19.05-01.393
- Пронин М.А. 19.05-01.283
- Прончева О.Г. 19.05-01.396
- Проскуряков К.Н. 19.05-01.349
- Проценко Е.А. 19.05-01.171
- Проценко С.В. 19.05-01.171
- Прошкин В.А. 19.05-01.489
- Пудовкин А.А. 19.05-01.379
- Пузырёв В.И. 19.05-01.409
- Пустовойт В.И. 19.05-01.154
- Пушкин С.Д. 19.05-01.365
- Р**
- Рагозина В.Е. 19.05-01.115
- Раевский А.О. 19.05-01.129
- Раевский М.А. 19.05-01.167
- Разрезова К.В. 19.05-01.158
- Раков А.С. 19.05-01.188,
19.05-01.194, 19.05-01.242
- Раков Д.С. 19.05-01.188,
19.05-01.194, 19.05-01.242
- Растегаев И.А. 19.05-01.426
- Рафиков Р.Х. 19.05-01.201,
19.05-01.422
- Рахилина Е.В. 19.05-01.24
- Рахматуллин Р.Р. 19.05-01.475,
19.05-01.476
- Ревизников Д.Л. 19.05-01.91
- Ремизов М.Ю. 19.05-01.37
- Ремшев Е.Ю. 19.05-01.433
- Репина И.А. 19.05-01.206
- Роганов В.Ю. 19.05-01.126
- Роганов Ю.В. 19.05-01.126
- Родимова Р.И. 19.05-01.192
- Родионов В.П. 19.05-01.131
- Родионов П.В. 19.05-01.65,
19.05-01.66
- Родюшкин В.М. 19.05-01.420
- Рожков С.П. 19.05-01.471
- Розанов Д.С. 19.05-01.439
- Романов С.В. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К
- Романов С.Ю. 19.05-01.387,
19.05-01.388
- Романовская Е.В. 19.05-01.204
- Россихин А.А. 19.05-01.328
- Рубановский В.В. 19.05-01.271
- Рудаков В.П. 19.05-01.298
- Рудаков И.А. 19.05-01.102
- Руденко В.Н. 19.05-01.457
- Руденко О.В. 19.05-01.7К,
19.05-01.9К, 19.05-01.10К,
19.05-01.15К, 19.05-01.21К,
19.05-01.113
- Рудниченко А.А. 19.05-01.130
- Румянцева О.Д. 19.05-01.14К
- Рутенко А.Н. 19.05-01.169
- Рыбак С.П. 19.05-01.67,
19.05-01.288, 19.05-01.332,
19.05-01.338, 19.05-01.339
- Рыбнов Ю. 19.05-01.442
- Рыбнов Ю.С. 19.05-01.44
- Рыбченко А.А. 19.05-01.393
- Рывкин Д.Г. 19.05-01.430
- Рыкунов А.Н. 19.05-01.441
- Рыхтик П.И. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К
- Рябов В.М. 19.05-01.105
- Рябоус А.Ю. 19.05-01.417
- Рябыкина Р.В. 19.05-01.283
- С**
- Сабиров И.Р. 19.05-01.165
- Савельев А.А. 19.05-01.282
- Савельев А.Д. 19.05-01.289
- Савельев И.А. 19.05-01.289
- Савенко В.В. 19.05-01.369
- Савенков Е.Б. 19.05-01.386
- Садовникова Е.В. 19.05-01.483
- Садовничий В.А. 19.05-01.24
- Садовский С.А. 19.05-01.118
- Сажин М.В. 19.05-01.458
- Самойлов Е.В. 19.05-01.421
- Самойлов И.А. 19.05-01.244
- Самохин В.Ф. 19.05-01.251,
19.05-01.260, 19.05-01.311,
19.05-01.327
- Сапунков Я.Г. 19.05-01.444
- Саразов А.В. 19.05-01.76
- Сафин А.И. 19.05-01.125
- Сафонов Д.В. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К
- Сафонова М.А. 19.05-01.9К,
19.05-01.10К
- Сафронова М.А. 19.05-01.255
- Сахарова А.И. 19.05-01.259
- Свердлик Л.Г. 19.05-01.207
- Свинкин Д.С. 19.05-01.443
- Свиридюк Г.А. 19.05-01.77
- Свирский Ю.А. 19.05-01.270
- Свотина В.В. 19.05-01.473,
19.05-01.475, 19.05-01.476
- Се Х. 19.05-01.117
- Севастьянов Ф.С. 19.05-01.267
- Седнев Д.А. 19.05-01.389
- Седяков А.И. 19.05-01.127
- Селезнев И.А. 19.05-01.193
- Сельвесюк Н.И. 19.05-01.116
- Семенёв П.А. 19.05-01.54,
19.05-01.214
- Семенов А.В. 19.05-01.402
- Семёнов А.Л. 19.05-01.24
- Семенов А.Н. 19.05-01.441
- Семенов Б.Н. 19.05-01.152
- Семенов М.Е. 19.05-01.116
- Семенов В.Н. 19.05-01.458
- Сенин А.Н. 19.05-01.94
- Сентябов А.В. 19.05-01.291
- Серёжников С.Ю. 19.05-01.387,
19.05-01.388
- Сибин А.Н. 19.05-01.99
- Сидоренко Д.А. 19.05-01.220
- Сидоров А.С. 19.05-01.143
- Сидоров И.С. 19.05-01.270
- Сидорякина В.В. 19.05-01.171
- Силаев М.Ю. 19.05-01.433
- Синер А.А. 19.05-01.248,
19.05-01.262, 19.05-01.264,
19.05-01.329, 19.05-01.355
- Синило В.П. 19.05-01.469
- Сирота В.А. 19.05-01.210
- Скворцов А.Н. 19.05-01.323

Скоморохов С.И. 19.05-01.259
 Скринников Е.В. 19.05-01.417
 Скрыль С.В. 19.05-01.341
 Слаутский Л.А. 19.05-01.211
 Смагин Д.А. 19.05-01.379,
 19.05-01.382
 Смагин И.Р. 19.05-01.237
 Смирнов А.Д. 19.05-01.426
 Смирнов В.М. 19.05-01.465
 Смирнова Н.С. 19.05-01.481
 Смоленский Е.В. 19.05-01.393
 Смольников В.Ю. 19.05-01.369
 Смородинский Я.Г. 19.05-01.424
 Смыслов А.А. 19.05-01.462,
 19.05-01.463, 19.05-01.464
 Смыслов В.И. 19.05-01.283
 Собисевич А.Л. 19.05-01.164,
 19.05-01.179
 Соболяк А.В. 19.05-01.146,
 19.05-01.308
 Соков Е.М. 19.05-01.68
 Соколов И.В. 19.05-01.88,
 19.05-01.423
 Соловьев С.П. 19.05-01.44
 Соловьёва Н.Н. 19.05-01.77
 Сон Э.Е. 19.05-01.435
 Сорокин А.П. 19.05-01.202
 Сорокин Е.В. 19.05-01.312
 Сорокин С.А. 19.05-01.202
 Сорочинский М.В. 19.05-01.469
 Софронов И.Л. 19.05-01.66
 Спивак В.И. 19.05-01.341
 Сридхар Б.Т.Н. 19.05-01.238
 Старавойтова Е.В. 19.05-01.290
 Старинова О.Л. 19.05-01.488
 Старовойтов П.П. 19.05-01.131
 Старцева М.П. 19.05-01.262
 Степаненко А.Н. 19.05-01.114
 Степанова Л.Н. 19.05-01.411
 Степина Е.В. 19.05-01.355
 Стефанов В.Е. 19.05-01.204
 Стовас А. 19.05-01.126
 Столяров Е.П. 19.05-01.402
 Страдомский О.Ю. 19.05-01.244
 Стручков А.В. 19.05-01.76
 Суворов А.С. 19.05-01.68
 Судаков Г.Г. 19.05-01.74
 Сульженко В.А. 19.05-01.415
 Сурешкумар А. 19.05-01.238
 Сурис Р.А. 19.05-01.23
 Суханов В.В. 19.05-01.109
 Сухарев Т.Ю. 19.05-01.91
 Сухарцов А.А. 19.05-01.379
 Сухинин С.В. 19.05-01.157,
 19.05-01.216
 Сухинов А.И. 19.05-01.171,
 19.05-01.446
 Суховая Е.А. 19.05-01.331
 Сухоруков А.П. 19.05-01.7К,
 19.05-01.15К
 Сухоруков Н.И. 19.05-01.425
 Сухорукова О.С. 19.05-01.145
 Сыпало К.И. 19.05-01.247
 Съе Ч. 19.05-01.458

Т

Таишев С.Р. 19.05-01.84
 Танашева Н.К. 19.05-01.300
 Тараненко П.А. 19.05-01.419
 Тарасенко А.С. 19.05-01.145
 Тарасенко С.В. 19.05-01.145
 Тарасов А.В. 19.05-01.179
 Тарасов Н.Т. 19.05-01.480
 Татаринова Ю.В. 19.05-01.36

Татевосов С.Г. 19.05-01.24
 Темербеков В.М. 19.05-01.218
 Тенигилов Е.С. 19.05-01.411
 Терентьев Е.Н. 19.05-01.225
 Терентьева Л.В. 19.05-01.330
 Терехов В.И. 19.05-01.213
 Терехова А.А. 19.05-01.275
 Тимашков И.А. 19.05-01.9К,
 19.05-01.10К
 Тимофеев Д.В. 19.05-01.88,
 19.05-01.423
 Тимошенков В.Г. 19.05-01.191
 Тимушев С.Ф. 19.05-01.59,
 19.05-01.332
 Титарев В.А. 19.05-01.235,
 19.05-01.274
 Титов Д.Ю. 19.05-01.107
 Титова В.Б. 19.05-01.222
 Тихомиров В.М. 19.05-01.24
 Тихомиров С.А. 19.05-01.153
 Тихонов Д.С. 19.05-01.425
 Тихоньчев П.С. 19.05-01.236
 Ткачева Л.А. 19.05-01.185
 Тонков Л.Е. 19.05-01.299
 Торебек Б.Т. 19.05-01.110
 Третьяков А.А. 19.05-01.147
 Трилис А.В. 19.05-01.216
 Трубецков Д.И. 19.05-01.26
 Трубицына Л.П. 19.05-01.285
 Трушляков В.И. 19.05-01.121
 Тубанов Ц.А. 19.05-01.302
 Тугазаков Р.Я. 19.05-01.296
 Тукмаков А.Л. 19.05-01.344
 Тукмакова Н.А. 19.05-01.344
 Туманов М.А. 19.05-01.384
 Тюпин С.А. 19.05-01.426
 Тюфтяев А.С. 19.05-01.435
 Тятюшкин А.Н. 19.05-01.144

У

У Дж.К. 19.05-01.239
 У Я. 19.05-01.117, 19.05-01.280
 Угольницкий Г.А. 19.05-01.446
 Уколов А.И. 19.05-01.131
 Украинский Л.Е. 19.05-01.91
 Уланов М.В. 19.05-01.443
 Усов А.Б. 19.05-01.446
 Устюгова Г.В. 19.05-01.31
 Утешев И.А. 19.05-01.447
 Уткин П.С. 19.05-01.161,
 19.05-01.220
 Уткина А.А. 19.05-01.76
 Ушаков В.Н. 19.05-01.148

Ф

Фань Ч. 19.05-01.280
 Фараносов Г.А. 19.05-01.51,
 19.05-01.251, 19.05-01.258,
 19.05-01.266, 19.05-01.281,
 19.05-01.372, 19.05-01.377,
 19.05-01.378
 Фарфель В.А. 19.05-01.195
 Фатьянов А.Г. 19.05-01.302
 Федоров А.В. 19.05-01.218
 Федорова Е.В. 19.05-01.390
 Федорченко Ю.П. 19.05-01.75
 Федосеев В.И. 19.05-01.364
 Федосеев С.Ю. 19.05-01.59
 Федотов А.В. 19.05-01.383
 Федотов Е.С. 19.05-01.278
 Фейгин С.А. 19.05-01.393
 Фершалов М.Ю. 19.05-01.169
 Филатов Е.В. 19.05-01.294

Филатов И.С. 19.05-01.440
 Филонова Е.Н. 19.05-01.318
 Финников К.А. 19.05-01.291
 Фокин М.И. 19.05-01.86
 Фоменко С.И. 19.05-01.43
 Фортов В.Е. 19.05-01.23
 Фредерикс Д.Д. 19.05-01.443
 Фролова А.А. 19.05-01.235
 Фу Ч. 19.05-01.101

Х

Хабибуллин И.Л. 19.05-01.304
 Халецкий Ю.Д. 19.05-01.313,
 19.05-01.325, 19.05-01.327,
 19.05-01.358
 Хамидуллин Б.А. 19.05-01.119
 Хамидуллин К.А. 19.05-01.127
 Хандеева Н.А. 19.05-01.70
 Харламов В. 19.05-01.442
 Харламов В.А. 19.05-01.44
 Хисамов А.А. 19.05-01.304
 Хмелев В.Н. 19.05-01.437
 Ходжаев Д.А. 19.05-01.96
 Холощак В.В. 19.05-01.455,
 19.05-01.456
 Хомченко А.В. 19.05-01.104
 Храмцов И.В. 19.05-01.48,
 19.05-01.56, 19.05-01.229,
 19.05-01.360, 19.05-01.363,
 19.05-01.367
 Хроликова Д.Н. 19.05-01.368
 Хромулина Т.Д. 19.05-01.309,
 19.05-01.384
 Хусаинова Г.Я. 19.05-01.95

Ц

Цветков А.И. 19.05-01.232
 Цветкова А.Е. 19.05-01.443
 Цветкова В.О. 19.05-01.65
 Цзян Г. 19.05-01.146
 Цивильский И.В. 19.05-01.119
 Цыбульская Н.Д. 19.05-01.206
 Цыпкин Г.Г. 19.05-01.177

Ч

Челноков Ю.Н. 19.05-01.444
 Черенкова Е.С. 19.05-01.48,
 19.05-01.229
 Черепнев А.А. 19.05-01.203
 Чернова А.А. 19.05-01.303
 Чернышев Б.В. 19.05-01.465
 Чернышев С.А. 19.05-01.30,
 19.05-01.52, 19.05-01.53,
 19.05-01.58, 19.05-01.286,
 19.05-01.372
 Честных А.О. 19.05-01.340
 Четверушкин Б.Н. 19.05-01.386
 Чешев М.Е. 19.05-01.307
 Чжоу Ж. 19.05-01.487
 Чистяков А.Е. 19.05-01.171
 Чугайнова А.П. 19.05-01.226
 Чунчужов И.П. 19.05-01.206
 Чупин В.А. 19.05-01.205
 Чхартишвили А.Г. 19.05-01.447

Ш

Шабанов Г.А. 19.05-01.393
 Шавров В.Г. 19.05-01.145
 Шагапов В.Ш. 19.05-01.122
 Шамаев В.Г. 19.05-01.17
 Шамир М.Ф. 19.05-01.482

Шамрай А.В. 19.05-01.140
Шаргатов В.А. 19.05-01.226
Шардонне П.Д. 19.05-01.481
Шарунов А.В. 19.05-01.269
Шатина А.В. 19.05-01.483
Шатравин А.В. 19.05-01.166
Шахов Е.М. 19.05-01.235
Шевяков В.И. 19.05-01.245
Шейнман Е.Л. 19.05-01.85
Шелег В.К. 19.05-01.436
Шень А.Х. 19.05-01.24
Шерменева М.А. 19.05-01.168
Шеронова Т.С. 19.05-01.375,
19.05-01.409
Шефер И.А. 19.05-01.160
Ширшова М.О. 19.05-01.222
Ширяев А.Д. 19.05-01.255
Ширяева С.О. 19.05-01.134,
19.05-01.139, 19.05-01.241,
19.05-01.451
Шкадов В.Я. 19.05-01.135
Шкелев Е.И. 19.05-01.392
Шлемов Ю.Ф. 19.05-01.369
Шмырков О.В. 19.05-01.298
Шорстов В.А. 19.05-01.75,
19.05-01.310
Шрагер Г.Р. 19.05-01.234
Штанько А.В. 19.05-01.347

Штеменко Л.С. 19.05-01.225
Шуваев В.Г. 19.05-01.434,
19.05-01.441
Шуваев Н.В. 19.05-01.40,
19.05-01.264
Шувалов А.А. 19.05-01.179
Шувалов В. 19.05-01.442
Шугаев Ф.В. 19.05-01.225
Шульдешов Е.М. 19.05-01.359,
19.05-01.406
Шумилов А.В. 19.05-01.416
Шуруп А.С. 19.05-01.164,
19.05-01.165, 19.05-01.179,
19.05-01.197
Шустов А.В. 19.05-01.316
Шуюшбаева Н.Н. 19.05-01.300

Щ

Щицын Ю.Д. 19.05-01.438

Э

Эльманович В.И. 19.05-01.400

Ю

Юдин М.А. 19.05-01.58, 19.05-01.286

Юй Я. 19.05-01.280
Юн Д.Ун. 19.05-01.146
Юнисов Р.Р. 19.05-01.114
Юрковский В.С. 19.05-01.216
Юшков В.В. 19.05-01.467
Юшкова О.В. 19.05-01.465,
19.05-01.467

Я

Ягола А.Г. 19.05-01.112
Яицков И.А. 19.05-01.352
Якимов А.Ю. 19.05-01.294
Яковец М.А. 19.05-01.49,
19.05-01.333, 19.05-01.357,
19.05-01.362, 19.05-01.371,
19.05-01.403, 19.05-01.404,
19.05-01.405, 19.05-01.406,
19.05-01.407
Яковлев А.В. 19.05-01.415
Яковлев А.Ю. 19.05-01.429
Яковлева Ю.С. 19.05-01.322
Ян С. 19.05-01.101
Яремчук С.Д. 19.05-01.391
Ярцев Б.А. 19.05-01.105,
19.05-01.366, 19.05-01.370

УКАЗАТЕЛЬ ИСТОЧНИКОВ

Журналы

- Geodynamics & Tectonophysics. 2019. 10, № 3 **19.05-01.302**
 Noise Theory and Practice (Электронный ресурс). 2019. 5, № 2
19.05-01.36, 19.05-01.124, 19.05-01.232, 19.05-01.317
 T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. 13, № 4
19.05-01.395
 Авиакосмическое приборостроение. 2019, № 5 **19.05-01.341**
 Автомобильный транспорт. 2019, № 44 **19.05-01.346**
 Акустический журнал. 2019. 65, № 5 **19.05-01.128,**
19.05-01.138, 19.05-01.151, 19.05-01.162, 19.05-01.166,
19.05-01.167, 19.05-01.168, 19.05-01.169, 19.05-01.178,
19.05-01.179, 19.05-01.198, 19.05-01.204, 19.05-01.281
 Алгебра и анализ. 2019. 31, № 5 **19.05-01.42, 19.05-01.109**
 Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации.
 2018, № 1 **19.05-01.40, 19.05-01.147, 19.05-01.228,**
19.05-01.229, 19.05-01.278, 19.05-01.279, 19.05-01.367,
19.05-01.368
 Безопасность жизнедеятельности. 2019, № 6 **19.05-01.318**
 В мире неразрушающего контроля. 2019. 22, № 2
19.05-01.400, 19.05-01.421
 Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2019, № 3
19.05-01.174
 Вестн. Белор.-Рос. унив. 2019, № 3 **19.05-01.436**
 Вестн. МГТУ. Сер. Приборостр. 2019, № 4 **19.05-01.186,**
19.05-01.397
 Вестн. МЭИ. 2019, № 3 **19.05-01.390**
 Вестн. МЭИ. 2019, № 4 **19.05-01.106**
 Вестник Адыгейского государственного университета. Серия
 4: Естественно-математические и технические науки. 2019,
 № 1 **19.05-01.343**
 Вестник Башкирского ун-та. 2019. 24, № 2 **19.05-01.123**
 Вестник Ижевского гос. технич. ун-та. 2019. 21, № 2
19.05-01.431
 Вестник Казанского гос. технич. ун-та им. А. Н. Туполева.
 2019. 75, № 2 **19.05-01.119**
 Вестник Камчатского гос. технич. ун-та. 2019, № 48
19.05-01.131
 Вестник Кыргызско-Российского Славянского ун-та. 2018. 18,
 № 12 **19.05-01.207, 19.05-01.307, 19.05-01.432**
 Вестник машиностроения. 2019, № 6 **19.05-01.107**
 Вестник МГСУ. 2018. 13, № 11 **19.05-01.96**
 Вестник МГСУ. 2019. 14, № 5 **19.05-01.118**
 Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Естественные
 науки. 2019, № 3 **19.05-01.102**
 Вестник МГУ. Сер. I: Математика. Механика. 2019, № 3
19.05-01.29, 19.05-01.135, 19.05-01.489
 Вестник МГУ. Серия 15: Вычислительная математика и
 кибернетика. 2019, № 3 **19.05-01.27**
 Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия. 2019, № 2
19.05-01.112, 19.05-01.457, 19.05-01.458, 19.05-01.459
 Вестник МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия. 2019, № 3
19.05-01.225
 Вестник Московского авиац. ин-та. 2019. 26, № 2
19.05-01.282, 19.05-01.283, 19.05-01.351, 19.05-01.433,
19.05-01.487, 19.05-01.488
 Вестник Нижегородского ун-та. 2004, № 1 **19.05-01.35,**
19.05-01.392
 Вестник Пермского национального исследовательского
 политехнического университета. Машиностроение,
 материаловедение. 2019, № 2 **19.05-01.438**
 Вестник Пермского национального исследовательского
 политехнического университета. Механика. 2019, № 2
19.05-01.43, 19.05-01.345
 Вестник Пермского ун-та. Серия: Физика. 2019, № 1
19.05-01.136
 Вестник Российского университета дружбы народов. Серия:
 Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. 26, № 4
19.05-01.323, 19.05-01.324
 Вестник Ростовского гос. ун-та путей сообщения. 2019, № 2
19.05-01.319, 19.05-01.352
 Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1:
 Математика. Механика. Астрономия. 2018. 5, № 2
19.05-01.105, 19.05-01.230
 Вестник Тамбовского государственного технического
 университета (ТГТУ). 2019. 25, № 1 **19.05-01.440**
 Вестник Томского гос. архитектурно-строительного ун-та.
 2019. 21, № 3 **19.05-01.353**
 Вестник Удмуртского ун-та: Математика. Механика.
 Компьютерные науки. 2019. 29, № 2 **19.05-01.224**
 Вестник Южно-Уральского государственного университета.
 Серия: Математика. Механика. Физика. 2019. 11, № 3
19.05-01.77, 19.05-01.419
 Вестник Южно-Уральского государственного университета.
 Серия: Математическое моделирование и
 программирование. 2019. 12, № 2 **19.05-01.111,**
19.05-01.221
 Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое
 моделирование физических процессов. 2019, № 2
19.05-01.76, 19.05-01.173, 19.05-01.222
 Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства
 противодействия терроризму. 2019, № 5-6 **19.05-01.391**
 Вопросы радиоэлектроники. 2019, № 5 **19.05-01.202,**
19.05-01.203
 Вычисл. методы и программир. 2019. 20, № 3 **19.05-01.161,**
19.05-01.220, 19.05-01.387
 Вычислительная механика сплошных сред. 2018. 11, № 4
19.05-01.94
 Вычислительные технологии. 2019. 24, № 3 **19.05-01.95,**
19.05-01.212
 Геофизика. 2019, № 3 **19.05-01.416**
 Геофизические исследования. 2019. 20, № 2 **19.05-01.484**
 Геофизический журнал. 2018. 40, № 6 **19.05-01.305**
 Геофизический журнал. 2019. 41, № 3 **19.05-01.126**
 Гидроакустика. 2019, № 38-1 **19.05-01.28, 19.05-01.163,**
19.05-01.180, 19.05-01.184, 19.05-01.187, 19.05-01.190,
19.05-01.191, 19.05-01.192, 19.05-01.193, 19.05-01.199,
19.05-01.200
 Гироскопия и навигация. 2019. 27, № 1 **19.05-01.176,**
19.05-01.471
 Дефектоскопия. 2019, № 5 **19.05-01.201, 19.05-01.422**
 Дефектоскопия. 2019, № 6 **19.05-01.88, 19.05-01.89,**
19.05-01.388, 19.05-01.423, 19.05-01.424
 Дефектоскопия. 2019, № 7 **19.05-01.90, 19.05-01.389,**
19.05-01.425
 Дифференциальные уравнения. 2019. 55, № 6 **19.05-01.110**
 Доклады академии наук. 2019. 485, № 4 **19.05-01.38,**
19.05-01.152, 19.05-01.485
 Доклады академии наук. 2019. 485, № 6 **19.05-01.70**
 Доклады академии наук. 2019. 486, № 1 **19.05-01.91**
 Доклады академии наук. 2019. 487, № 1 **19.05-01.226,**
19.05-01.297
 Доклады академии наук. 2019. 487, № 3 **19.05-01.181,**
19.05-01.215, 19.05-01.298
 Доклады академии наук. 2019. 487, № 6 **19.05-01.182**
 Естественные и технические науки. 2019, № 3 **19.05-01.347,**
19.05-01.478, 19.05-01.479
 Естественные и технические науки. 2019, № 5 **19.05-01.98**
 Ж. эксперим. и теор. физ. 2019. 155, N 6 **19.05-01.132**
 Ж. эксперим. и теор. физ. 2019. 155, № 6 **19.05-01.482**
 Журнал математической физики, анализа, геометрии. 2018.
14, № 3 **19.05-01.231**
 Журнал технической физики. 2019. 89, N 7 **19.05-01.240,**
19.05-01.299, 19.05-01.300
 Журнал технической физики. 2019. 89, N 8 **19.05-01.241**
 Журнал технической физики. 2019. 89, № 8 **19.05-01.134,**
19.05-01.139
 Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2019. 22, № 3
19.05-01.148
 Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2019. 27,
 № 3 **19.05-01.26**
 Известия вузов. Физика. 2019. 62, № 6 **19.05-01.290**

- Известия высших учебных заведений (вузов). Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2019, № 3 **19.05-01.417**
- Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2019, № 1 **19.05-01.441**
- Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2019, № 2 **19.05-01.344**
- Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2019, № 5 **19.05-01.439**
- Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019, 62, № 6 **19.05-01.306**
- Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2019, 62, № 6 **19.05-01.398**
- Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2019, № 4 **19.05-01.99, 19.05-01.117, 19.05-01.143, 19.05-01.144, 19.05-01.159, 19.05-01.213, 19.05-01.233, 19.05-01.234, 19.05-01.235, 19.05-01.236, 19.05-01.291, 19.05-01.292, 19.05-01.293, 19.05-01.303, 19.05-01.348**
- Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2019, № 5 **19.05-01.69, 19.05-01.100, 19.05-01.160, 19.05-01.177, 19.05-01.214, 19.05-01.223, 19.05-01.237, 19.05-01.238, 19.05-01.239, 19.05-01.280, 19.05-01.294, 19.05-01.295, 19.05-01.296, 19.05-01.304, 19.05-01.451**
- Известия РАН. Серия физическая. 2019, 83, № 6 **19.05-01.145**
- Известия РАН. Серия физическая. 2019, 83, № 7 **19.05-01.129**
- Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2019, 55, № 2 **19.05-01.206**
- Известия Российской академии наук. Энергетика. 2016, № 1 **19.05-01.25**
- Известия Российской академии наук. Энергетика. 2016, № 2 **19.05-01.473**
- Известия Российской академии наук. Энергетика. 2017, № 2 **19.05-01.217**
- Известия Российской академии наук. Энергетика. 2018, № 2 **19.05-01.435**
- Известия Российской академии наук. Энергетика. 2018, № 3 **19.05-01.410, 19.05-01.474, 19.05-01.475**
- Известия Российской академии наук. Энергетика. 2019, № 3 **19.05-01.476**
- Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018, 20, № 6 **19.05-01.41**
- Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018, 20, № 6-2 **19.05-01.477**
- Известия Санкт-Петербургского гос. электротехнич. ун-та "ЛЭТИ". 2019, № 5 **19.05-01.137**
- Измерительная техника. 2019, № 5 **19.05-01.196**
- Инженерная физика. 2019, № 6 **19.05-01.84, 19.05-01.480**
- Квантовая электроника. 2019, 49, № 8 **19.05-01.154**
- Контроль. Диагностика. 2019, № 2 **19.05-01.411**
- Контроль. Диагностика. 2019, № 4 **19.05-01.301, 19.05-01.426, 19.05-01.427, 19.05-01.428, 19.05-01.429**
- Кратк. сообщ. по физ. ФИАН. 2019, 46, № 5 **19.05-01.450**
- Мат. моделир. 2019, 31, № 7 **19.05-01.31, 19.05-01.32, 19.05-01.39, 19.05-01.116, 19.05-01.386, 19.05-01.396, 19.05-01.445, 19.05-01.446**
- Мат. моделир. 2019, 31, № 8 **19.05-01.33, 19.05-01.34, 19.05-01.142, 19.05-01.171, 19.05-01.447, 19.05-01.448, 19.05-01.449**
- Методы и устройства передачи и обработки информации. 2017, № 19 **19.05-01.375, 19.05-01.376**
- Методы и устройства передачи и обработки информации. 2018, № 20 **19.05-01.384, 19.05-01.394, 19.05-01.409**
- Механика твердого тела. 2019, № 3 **19.05-01.92, 19.05-01.93, 19.05-01.115**
- Механика твердого тела. 2019, № 4 **19.05-01.444**
- Нано- и микросистемная техника. 2019, 21, № 7 **19.05-01.87**
- Наукоёмкие технологии. 2019, 20, № 4 **19.05-01.349**
- Науч. приборостр. 2019, 29, № 1 **19.05-01.393**
- Науч. приборостр. 2019, 29, № 2 **19.05-01.150**
- Научно-технич. ведомости Санкт-Петербургского гос. политехнич. ун-та. Естественные и инженерные науки. 2019, 25, № 2 **19.05-01.350**
- Научно-технич. ведомости Санкт-Петербургского гос. политехнич. ун-та. Физ.-мат. н. 2019, 12, № 1 **19.05-01.205, 19.05-01.383**
- Океанология. 2019, 59, № 4 **19.05-01.175**
- Письма в Журнал технической физики. 2019, 45, № 14 **19.05-01.140, 19.05-01.219**
- Письма в Журнал технической физики. 2019, 45, № 15 **19.05-01.155**
- Письма в Журнал технической физики. 2019, 45, № 17 **19.05-01.156**
- Письма в ЖЭТФ. 2019, 109, № 10 **19.05-01.486**
- Приборы и техника эксперимента. 2019, № 4 **19.05-01.153**
- Прикл. мат. и мех. 2019, 83, № 1 **19.05-01.37, 19.05-01.455, 19.05-01.456, 19.05-01.483**
- Прикладная механика и техническая физика. 2019, 60, № 3 **19.05-01.101, 19.05-01.122, 19.05-01.170, 19.05-01.185, 19.05-01.430**
- Прикладная механика и техническая физика. 2019, 60, № 4 **19.05-01.78**
- Прикладная физика. 2019, № 4 **19.05-01.127**
- Природа. 2019, № 7 **19.05-01.472**
- Пробл. физ., мат. и техн. 2019, № 2 **19.05-01.454**
- Радиотехника и электроника. 2018, 63, № 11 **19.05-01.149**
- Теплофиз. и аэромех. 2019, № 1 **19.05-01.218**
- Теплофиз. и аэромех. 2019, № 2 **19.05-01.121**
- Территория NDT. Международный журнал по неразрушающему контролю. 2019, № 3 **19.05-01.418**
- Труды Крыловского государственного научного центра. 2019, № 1 **19.05-01.172, 19.05-01.369**
- Труды Крыловского государственного научного центра. 2019, № 2 **19.05-01.366, 19.05-01.370, 19.05-01.382**
- Труды Крыловского государственного научного центра. 2019, № 3 **19.05-01.68, 19.05-01.130, 19.05-01.322**
- Труды Крыловского государственного научного центра. 2019, № 20191 **19.05-01.415**
- Труды Крыловского государственного научного центра. 2019, № 20193 **19.05-01.158, 19.05-01.342, 19.05-01.399**
- Труды МАИ. 2019, № 105 **19.05-01.97, 19.05-01.195**
- Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2019, № 1 **19.05-01.434**
- Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2019, № 2 **19.05-01.83**
- Успехи математических наук. 2019, 74, № 4 **19.05-01.24, 19.05-01.108**
- УФН. 2019, 189, № 8 **19.05-01.23, 19.05-01.443**
- Ученые записки физического ф-та МГУ. 2019, № 4 **19.05-01.86, 19.05-01.165, 19.05-01.197, 19.05-01.481**
- Физика плазмы. 2019, 45, № 7 **19.05-01.452**
- Физика плазмы. 2019, 45, № 9 **19.05-01.133, 19.05-01.453**
- Физическая мезомеханика. 2019, 22, № 3 **19.05-01.420**
- Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019, 12, № 2 **19.05-01.85, 19.05-01.183, 19.05-01.189**
- Южно-Сибирский научный вестник. 2019, № 2 **19.05-01.211, 19.05-01.414, 19.05-01.437**

Конференции и сборники

- Космическая радиолокация. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, проводимой в рамках III Всероссийских Армандовских чтений, Муром, 25—27 июня 2013 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2013 **19.05-01.462, 19.05-01.463**
- Прикладные вопросы формирования и обработки сигналов в радиолокации, связи и акустике. Сборник тезисов докладов IX научно-практического семинара. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018 **19.05-01.308, 19.05-01.309**
- Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн.

- Материалы II Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VIII Всероссийских Армандовских чтений, Муром, 26—28 июня 2018 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018 **19.05-01.146, 19.05-01.194, 19.05-01.242, 19.05-01.466, 19.05-01.467, 19.05-01.468, 19.05-01.469**
- Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VII Всероссийских Армандовских чтений, Муром, 27—29 июня 2017 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2017 **19.05-01.188, 19.05-01.464, 19.05-01.465**
- Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019 **19.05-01.17, 19.05-01.18, 19.05-01.30, 19.05-01.45, 19.05-01.46, 19.05-01.47, 19.05-01.48, 19.05-01.49, 19.05-01.50, 19.05-01.51, 19.05-01.52, 19.05-01.53, 19.05-01.54, 19.05-01.55, 19.05-01.56, 19.05-01.57, 19.05-01.58, 19.05-01.59, 19.05-01.60, 19.05-01.61, 19.05-01.62, 19.05-01.63, 19.05-01.64, 19.05-01.65, 19.05-01.66, 19.05-01.67, 19.05-01.71, 19.05-01.72, 19.05-01.73, 19.05-01.74, 19.05-01.75, 19.05-01.79, 19.05-01.80, 19.05-01.81, 19.05-01.82, 19.05-01.103, 19.05-01.104, 19.05-01.113, 19.05-01.114, 19.05-01.120, 19.05-01.125, 19.05-01.157, 19.05-01.209, 19.05-01.210, 19.05-01.216, 19.05-01.227, 19.05-01.243, 19.05-01.244, 19.05-01.245, 19.05-01.246, 19.05-01.247, 19.05-01.248, 19.05-01.249, 19.05-01.250, 19.05-01.251, 19.05-01.252, 19.05-01.253, 19.05-01.254, 19.05-01.255, 19.05-01.256, 19.05-01.257, 19.05-01.258, 19.05-01.259, 19.05-01.260, 19.05-01.261, 19.05-01.262, 19.05-01.263, 19.05-01.264, 19.05-01.265, 19.05-01.266, 19.05-01.267, 19.05-01.268, 19.05-01.269, 19.05-01.270, 19.05-01.271, 19.05-01.272, 19.05-01.273, 19.05-01.274, 19.05-01.275, 19.05-01.276, 19.05-01.277, 19.05-01.284, 19.05-01.285, 19.05-01.286, 19.05-01.287, 19.05-01.288, 19.05-01.289, 19.05-01.310, 19.05-01.311, 19.05-01.312, 19.05-01.313, 19.05-01.314, 19.05-01.315, 19.05-01.316, 19.05-01.320, 19.05-01.321, 19.05-01.325, 19.05-01.326, 19.05-01.327, 19.05-01.328, 19.05-01.329, 19.05-01.330, 19.05-01.331, 19.05-01.332, 19.05-01.333, 19.05-01.334, 19.05-01.335, 19.05-01.336, 19.05-01.337, 19.05-01.338, 19.05-01.339, 19.05-01.340, 19.05-01.354, 19.05-01.355, 19.05-01.356, 19.05-01.357, 19.05-01.358, 19.05-01.359, 19.05-01.360, 19.05-01.361, 19.05-01.362, 19.05-01.363, 19.05-01.364, 19.05-01.365, 19.05-01.371, 19.05-01.372, 19.05-01.373, 19.05-01.374, 19.05-01.377, 19.05-01.378, 19.05-01.379, 19.05-01.380, 19.05-01.381, 19.05-01.385, 19.05-01.401, 19.05-01.402, 19.05-01.403, 19.05-01.404, 19.05-01.405, 19.05-01.406, 19.05-01.407, 19.05-01.408**
- Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16—19 июня 2015 г. М.: ГЕОС. 2015 **19.05-01.44, 19.05-01.141, 19.05-01.164, 19.05-01.208, 19.05-01.412, 19.05-01.413, 19.05-01.442**

Книги

- Nonlinear Acoustics through Problems and Examples. Victoria: Trafford Publishing. 2010 **19.05-01.3K**
- Nonlinear Acoustics. Chapter S in the Book: Formulas of Acoustics. Berlin: SPRINGER-VERLAG. 2002 **19.05-01.1K**
- Nonlinear phenomena in high-intensity noise fields. Tokio: Inst. of Technology. 2004 **19.05-01.2K**
- Nonlinear Underwater Acoustics: American Institute of Physics. 1987 **19.05-01.20K**
- Statistical Phenomena . Ch. 13 in the Book: Nonlinear Acoustics. NY: Academic Press. 1998 **19.05-01.22K**
- Theoretical Foundations of Nonlinear Acoustics. NY: Plenum. 1977 **19.05-01.19K**
- Theoretical Foundations of Nonlinear Acoustics. NY: Springer. 2013 **19.05-01.5K**
- Waves and Structures in Nonlinear Nondispersive Media. Beijing: Higher Education Press Springer. 2011 **19.05-01.4K**
- Булат Окуджава. Сер. ЖЗЛ. Вып. 1365(1165). М.: Молодая гвардия. 2009 **19.05-01.461K**
- Голос надежды. Новое у Булате Окуджаве. Сборник. М.: Булат. 2004 **19.05-01.460K**
- Космическая радиолокация. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции , проводимой в рамках III Всероссийских Армандовских чтений, Муром, 25—27 июня 2013 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2013 **19.05-01.6K**
- Нелинейные ультразвуковые волны в средах с поглощением и дисперсией. Учебное пособие для физического практикума по акустике. М.: Физический факультет МГУ. 2017 **19.05-01.10K**
- Обратные волновые задачи акустической томографии. Ч. 2: Обратные задачи акустического рассеяния. М.: ЛЕНАНД. 2020 **19.05-01.14K**
- Прикладные вопросы формирования и обработки сигналов в радиолокации, связи и акустике. Сборник тезисов докладов IX научно-практического семинара. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018 **19.05-01.13K**
- Рисунки на песке. М.: Изд-во АСТ. 2019 **19.05-01.470K**
- Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы II Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VIII Всероссийских Армандовских чтений, Муром, 26—28 июня 2018 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2018 **19.05-01.12K**
- Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Материалы Всероссийской научной конференции по проблемам радиофизики и дистанционного зондирования сред, проводимой в рамках VII Всероссийских Армандовских чтений, Муром, 27—29 июня 2017 г. Владимир: Изд-во Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени им. А.Г. и Н.Г. Столетовых". 2017 **19.05-01.11K**
- Статистические задачи в нелинейной акустике. Серия "Лекции для студентов и аспирантов" общество "Знание". М.: Изд-во МГУ. 1987 **19.05-01.21K**
- Тезисы докладов Шестой открытой Всероссийской (XVIII научно-технической) конференции по аэроакустике (22—27 сентября 2019 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского. 2019 **19.05-01.16K**
- Теория волн: Линейные и нелинейные волны: учебное пособие для вузов. 2-е изд. М.: Ленанд. 2015 **19.05-01.7K**
- Теория волн: Линейные и нелинейные волны: учебное пособие для вузов. Изд. стереотип. М.: URSS. 2015 **19.05-01.15K**
- Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16—19 июня 2015 г. М.: ГЕОС. 2015 **19.05-01.8K**
- Эластография сдвиговой волны: анализ клинических примеров. Смоленск: Смоленская городская типография. 2017 **19.05-01.9K**

СОДЕРЖАНИЕ

Библиография	19.05-01.1
Персоналии	19.05-01.23
Классические проблемы линейной акустики и теории волн	19.05-01.30
Нелинейная акустика	19.05-01.108
Физическая акустика	19.05-01.121
Акустика океана, гидроакустика	19.05-01.162
Атмосферная и аэроакустика	19.05-01.205
Акустика структурно неоднородных сред; Геологическая акустика	19.05-01.301
Акустическая экология; Шумы и вибрации	19.05-01.308
Акустика помещений; Музыкальная акустика	19.05-01.384
Обработка акустических сигналов; Компьютерное моделирование	19.05-01.386
Акустика живых систем; Биологическая акустика	19.05-01.390
Физические основы технической акустики	19.05-01.399
Акустика в медицинской практике	19.05-01.442
Физика	19.05-01.443
Астрономия	19.05-01.460
Авторский указатель Указатель источников	