



В рамках этой широкой области физической и прикладной акустики работы Отделения сосредоточены на следующих перспективных направлениях:

- **нелинейная акустика структурно-неоднородных сред** – быстро развивающийся раздел современной акустики, связанный с изучением сред с неоднородной микроструктурой и разработкой высокочувствительных нелинейных методов неразрушающего контроля и дефектоскопии;
- **когерентная сейсмоакустика** – зондирование и мониторинг состояния земных пород с использованием специальных когерентных источников сейсмоакустических сигналов;
- **резонансная акустическая спектроскопия** – диагностика внутренней структуры образцов различных материалов (в том числе, горных пород) на основе измерений их резонансных характеристик;
- **акустическое проектирование сложных конструкций и систем** – физическое моделирование и диагностика виброакустических характеристик сложных механических систем, оптимизация конструкции таких систем с целью обеспечения заданных виброакустических параметров.

По всем перечисленным направлениям в Отделении разработаны и созданы оригинальные экспериментальные установки и технические средства для выполнения лабораторных и натурных исследований. Помимо грантов РФФИ, значительную роль в финансовой поддержке этих исследований играет программа ОФН РАН «Когерентные акустические поля и сигналы». Исследования и разработки по акустическому проектированию развиваются, главным образом, в ходе выполнения хоздоговорных работ по заказу заинтересованных организаций.

НЕЛИНЕЙНАЯ АКУСТИКА СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД

Данное направление физической акустики успешно развивается в Отделении на основе того фундамента, который был заложен работами Л.А. Островского и его учеников в области нелинейной акустики, начатых еще в стенах НИРФИ и затем в ИПФ РАН в 1970-1980-х годах. «Классическим» объектом выполненных тогда исследований были нелинейные эффекты в жидкостях с пузырьками газа. В отличие от слабой (обусловленной межмолекулярным взаимодействием) нелинейности однородных жидкостей, такие среды из-за высокой сжимаемости пузырьков обладают сильной акустической нелинейностью. Было показано, что наблюдение нелинейных эффектов, обусловленных пузырьками, может быть эффективно использовано для их диагностики даже при очень низких концентрациях газа.

В последнее десятилетие все большее внимание в Отделении уделяется изучению *микроструктурно-обусловленных нелинейных эффектов* в твердых телах, например, в горных породах, поликристаллических металлах, конструкционных материалах и т.д. Подобные материалы из-за присутствия в них таких структурных особенностей как микротрещины и трещиноподобные дефекты, дислокации, межзеренные границы и контакты, приобретают ярко выраженные нелинейные акустические свойства. При этом по сравнению с атомарной нелинейностью монокристаллов и однородных аморфных тел структурно-обусловленная нелинейность не только аномально возрастает, но и приобретает качественно новые черты [1].



П.И. Коротин
зав. отделом, к.ф.-м.н.



Б.М. Салин
зав. лабораторией, к.ф.-м.н.



В.И. Турчин
зав. лабораторией, к.ф.-м.н.



А.С. Чащин
зав. лабораторией



А.В. Лебедев
зав. лабораторией, к.ф.-м.н.



В.С. Авербах
в.н.с., к.ф.-м.н.



В.Ю. Зайцев
в.н.с., д.ф.-м.н.



Ю.М. Заславский
в.н.с., д.ф.-м.н.



В.Е. Назаров
в.н.с., д.ф.-м.н.

Кроме общезначимого интереса, внимание к исследованию соответствующих нелинейных эффектов связано также с новыми диагностическими возможностями для широких применений в материаловедении, неразрушающем контроле, задачах сейсмоакустического мониторинга и т.д. Основная проблематика исследований в этом направлении включает:

- экспериментальное исследование (в лабораторных и природных условиях) нелинейных волновых процессов в микронеоднородных твердых телах;
- выявление физических механизмов сильной акустической нелинейности микронеоднородных сред и развитие их моделей (феноменологических, реологических, физических);
- развитие физических основ нелинейно-акустических методов неразрушающего контроля и диагностики структуры материалов и на этой основе разработка методик их промышленного применения.

Разработанные в Отделении физические и реологические модели микронеоднородных сред показали, что наличие даже очень малых концентраций высокосжимаемых дефектов (например, трещин) приводит к сильному увеличению нелинейности материала при практически неизменной величине линейных упругих модулей (рис. 1), что может быть использовано для раннего обнаружения таких дефектов в инженерных конструкциях.

Примером апробированного промышленного приложения этих результатов может служить разработанная технология диагностики трещинообразования в осях железнодорожных колесных пар (рис. 2). Экспериментально установлено также, что структурно-обусловленная нелинейность в микронеоднородных материалах может носить гистерезисный и (или) диссипативный характер. На рис. 3 приведены осциллограммы ультразвукового пробного импульса, прошедшего через стержень из отожженной меди: в присутствии низкочастотной интенсивной волны накачки его амплитуда уменьшается в несколько раз. Другим примером проявления диссипативной нелинейности является акустический аналог т.н. Люксембург-Горьковского эффекта кросс-модуляции взаимодействующих волн (переноса амплитудной модуляции с одной волны на другую) (рис. 4).

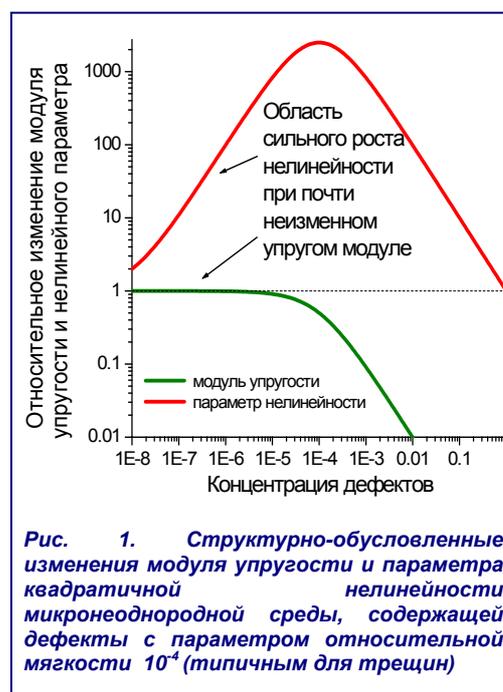


Рис. 1. Структурно-обусловленные изменения модуля упругости и параметра квадратичной нелинейности микронеоднородной среды, содержащей дефекты с параметром относительной мягкости 10^{-4} (типичным для трещин)

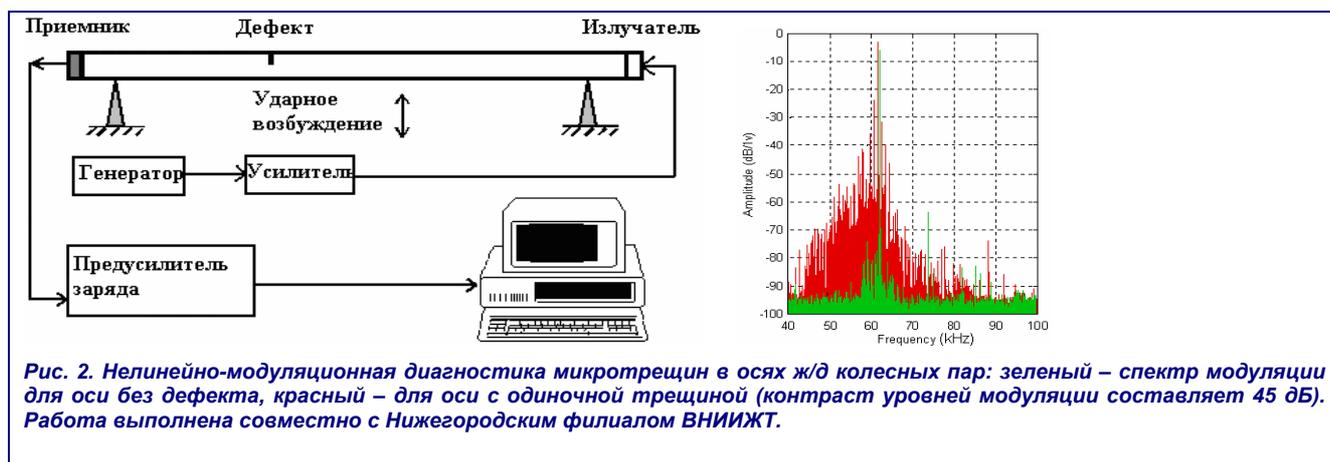


Рис. 2. Нелинейно-модуляционная диагностика микротрещин в осях ж/д колесных пар: зеленый – спектр модуляции для оси без дефекта, красный – для оси с одиночной трещиной (контраст уровней модуляции составляет 45 дБ). Работа выполнена совместно с Нижегородским филиалом ВНИИЖТ.

В лабораторных и натурных экспериментах исследовались и другие нелинейные акустические эффекты в различных (природных и искусственных) микронеоднородных средах – генерация разностной частоты и высших гармоник, нелинейное ограничение амплитуды и самопросветление, самодемодуляция и нелинейная задержка импульсов, амплитудное и фазовое самовоздействие (рис. 5,6), нелинейный сдвиг резонансной частоты, медленная динамика акустически активируемых образцов, проявления дилатансии, поляризационной анизотропии и дисперсии нелинейности [1-7].

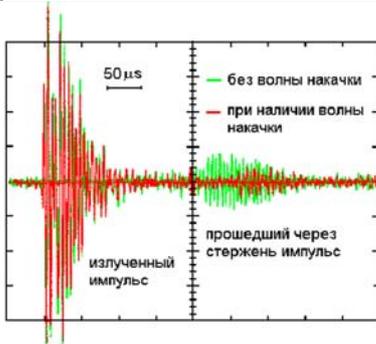


Рис. 3. Затухание звука на звуке в микро-неоднородных средах (поликристаллических горных породах и металлах)

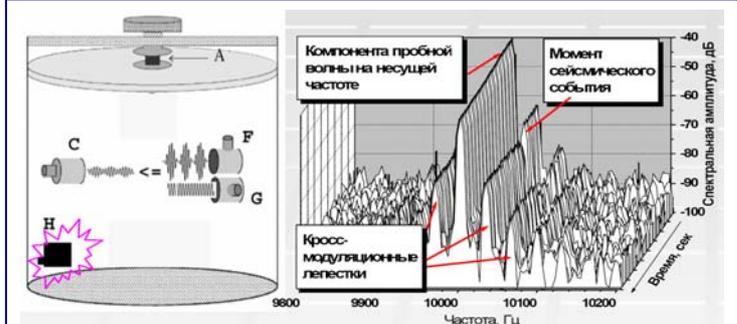


Рис. 4. Вариации нелинейных кросс-модуляционных компонент пробной волны под действием «сейсмических событий» (ударов) в искусственной зернистой среде [5]

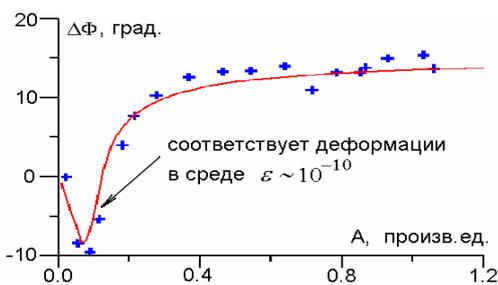


Рис. 5. Нелинейный эффект самовоздействия (зависимости скорости распространения волны от амплитуды) в песчаном грунте при рекордно малых амплитудах (натурный эксперимент) [4]

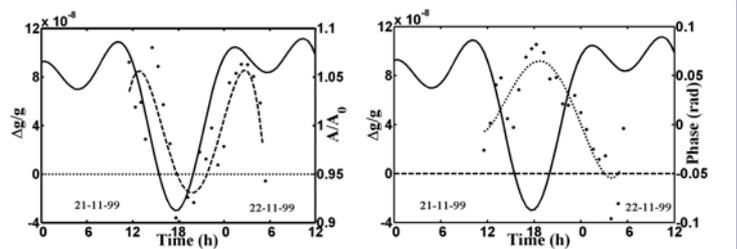


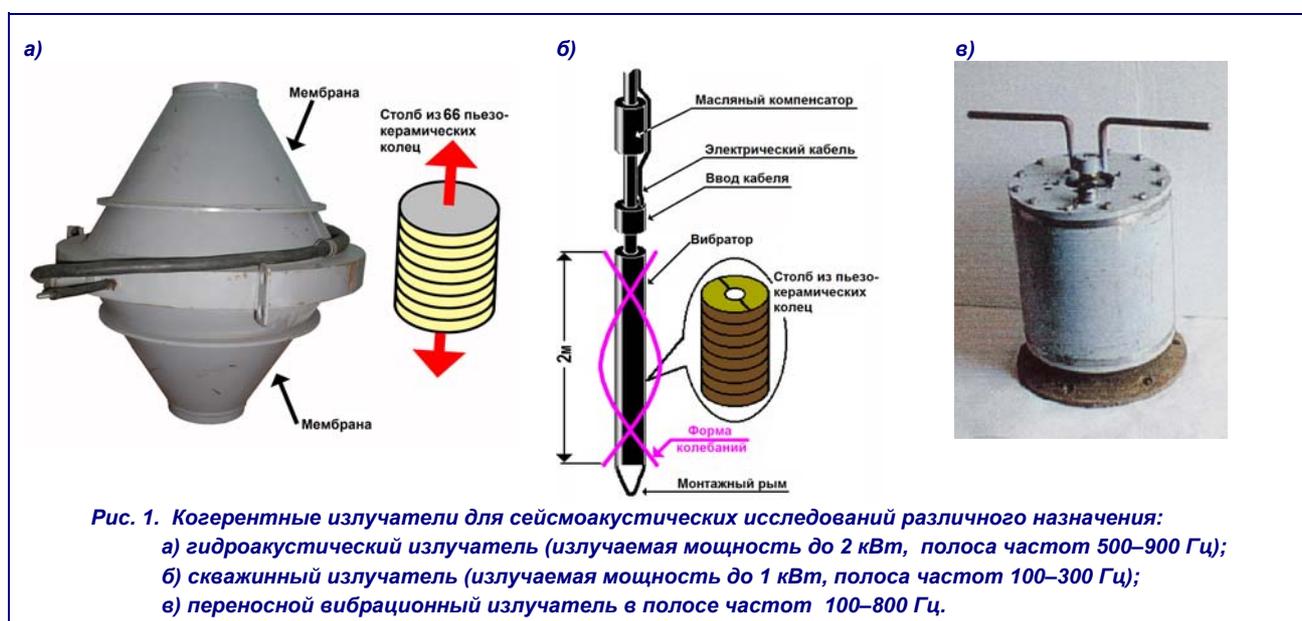
Рис. 6. Временные зависимости амплитуды и фазы принятой сейсмоакустической волны в массиве нефтенасыщенного песчаника (натурный эксперимент). Точки – экспериментальные данные, сплошные линии – изменения относительного ускорения силы тяжести, вызванного лунно-солнечным приливом [6]

ИЗБРАННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

- [1] Зайцев В.Ю., Назаров В.Е., Таланов В.И. «Неклассические» проявления микроструктурно-обусловленной нелинейности: новые возможности для акустической диагностики // УФН, 2006, т. 176, № 1 (в печати).
- [2] Nazarov V.E., Ostrovsky L.A., Soustova I.A., Sutin A.M. Nonlinear acoustics of microinhomogeneous media // *Phys. Earth & Planet. Interiors*, 1988, vol. 50, № 1, pp. 65-73.
- [3] Зименков С.В., Назаров В.Е. Нелинейные акустические эффекты в образцах горных пород // *Физика Земли*, 1993, № 1, с. 13-18.
- [4] Зайцев В.Ю., Назаров В.Е., Таланов В.И. Экспериментальное исследование самовоздействия сейсмоакустических волн // *Акуст. журн.*, 1999, т. 45, № 6, с. 799-806.
- [5] V. Zaitsev, V. Gusev, B. Castagnede. Luxemburg-Gorky effect retooled for elastic waves: A mechanism and experimental evidence // *Phys. Rev. Lett.*, 2002, vol. 89, № 10, p. 105502.
- [6] Боголюбов Б.Н., Лобанов В.Н., Назаров В.Е., Рылов В.И., Стромков А.А., Таланов В.И. Амплитудно-фазовая модуляция сейсмоакустической волны под действием лунно-солнечного прилива // *Геология и геофизика*, 2004, т. 45, № 8, с. 1045-1049.
- [7] V. Tournat, V. Zaitsev, V. Gusev, V. Nazarov, P. Bequin, B. Castagnede. Probing granular media by acoustic parametric emitting antenna: clapping contacts, nonlinear dilatancy and polarization anisotropy // *Phys. Rev. Lett.*, 2004, vol. 92, № 8, p. 085502.

КОГЕРЕНТНАЯ СЕЙСМОАКУСТИКА

Основной целью сейсмоакустики является дистанционное исследование земных пород с помощью акустических сигналов путем реконструкции свойств (параметров) среды или находящихся в ней неоднородностей. С этой точки зрения, развитие сейсмоакустики обнаруживает общий радиофизический контекст, заключающийся в применении универсальных подходов к решению обратных задач волновой диагностики неоднородных сред. Одним из таких известных подходов является использование когерентных сигналов для повышения пространственного разрешения получаемых изображений неоднородностей среды. Работы Отделения в области сейсмоакустики на основе такого подхода, инициированные в середине 1990-х годов акад. В.И. Талановым, привели к формированию нового направления – когерентной сейсмоакустики [1].



Для развития исследований в новом направлении используются оригинальные низкочастотные сейсмоакустические излучатели, обладающие рядом уникальных характеристик и позволяющие проводить тонкие измерения амплитудно-фазовых, спектральных и временных характеристик зондирующих сигналов в целях диагностики структуры и мониторинга состояния земных пород. Разработанные в Отделении излучатели, в том числе используемые для возбуждения сейсмических волн гидроакустические излучатели (рис. 1), способны развивать акустическую мощность до единиц киловатт при полностью электронной системе управления, что позволяет использовать различные виды когерентных (частотно- и фазомодулированных) сигналов и синтез приёмной апертуры [1].

Характерный пример успешной реализации натурального эксперимента по сейсмоакустическому зондированию с использованием когерентного излучателя показан на рис. 2. Высокая временная стабильность излучаемых сигналов позволила синтезировать многоэлементную приемную апертуру с помощью одиночного геофона и применить специальные процедуры корреляционной обработки сигналов для построения сейсмоакустического изображения с достаточно высоким пространственным разрешением [2].

Одно из перспективных направлений будущего развития когерентной сейсмоакустики – межскважинное зондирование и стимуляция производительности нефтяных месторождений с помощью низкочастотных (в диапазоне сотен Гц) когерентных скважинных излучателей [3,4]. Первый успешный эксперимент в этом направлении был выполнен на Самотлорском месторождении в 1999 г. (рис. 3). Создание в Отделении новых эффективных излучателей стимулировало разработку адекватных физических моделей низкочастотного виброакустического воздействия на проницаемость пористых сред, содержащих флюид [5-7].

Использование мощных когерентных источников позволило обнаружить в натуральных условиях нелинейные эффекты комбинационного рассеяния и самовоздействия сейсмических волн (рис. 4) [8,9], что указывает на перспективы разработки нелинейных методов сейсмоакустической диагностики и мониторинга состояния горных пород.

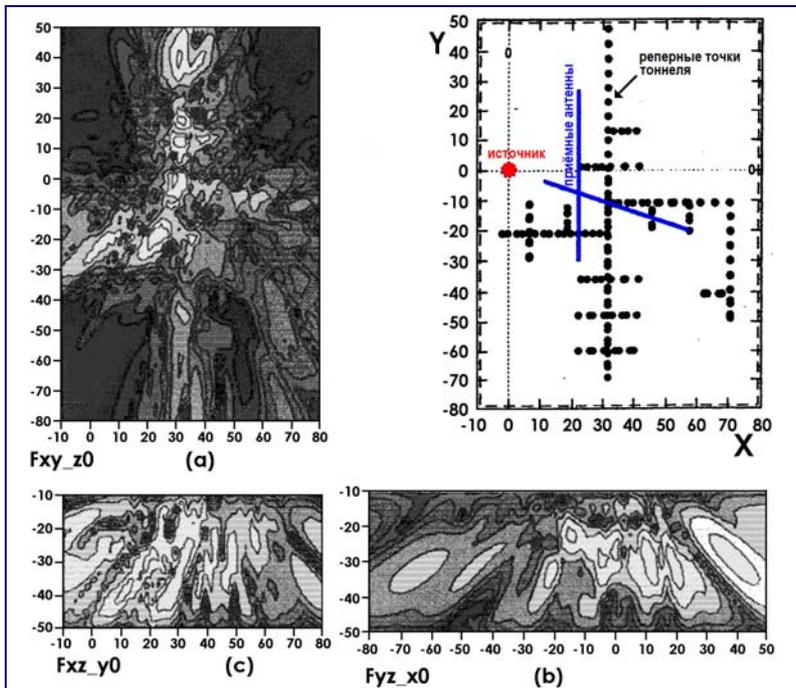
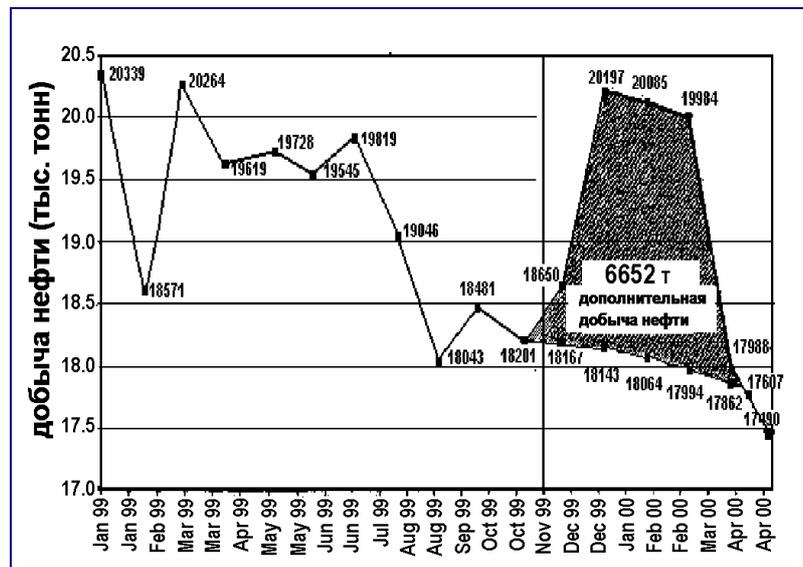
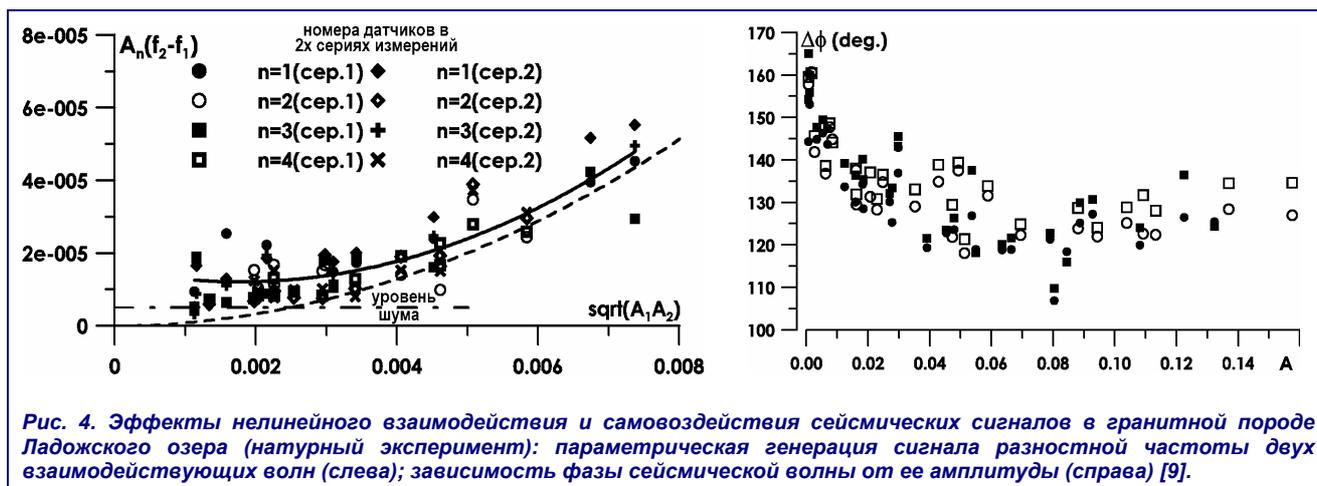


Рис. 2. Двумерные проекции сейсмоакустического изображения тоннеля Центральной сейсмической обсерватории ИФЗ РАН, расположенного на глубине 30 м (красным показано расположение источника на поверхности, синие линии – синтезированные приемные апертуры) [2].

Рис. 3. Результат испытаний прототипа мощного скважинного излучателя поперечных волн (рис. 16) на Самотлорском нефтяном месторождении (ноябрь 1999 г.): отклик скважин зарегистрирован в радиусе свыше 2 км; суммарный дополнительный дебет скважин составил 6652 тонны за период наблюдений 5 мес. [3]. Наравне с этим, в ходе эксперимента были построены годографы волновых сигналов, принятых в соседней скважине на удалении 350 м, которые позволили реконструировать геоакустические параметры среды.





В целях развития методов когерентной сейсмоакустики исследованы также возможности использования синхронизированных взрывных источников малой мощности (не оказывающих заметного искажающего воздействия на среду). В результате цикла натуральных экспериментов, проведенных совместно с РФЯЦ–ВНИИЭФ (г. Саров), было показано, что последовательный подрыв таких зарядов (на уровне 10–50 г ВВ) обеспечивает формирование в грунте сейсмоакустического поля с требуемыми фазовыми и корреляционными характеристиками [10].

ИЗБРАННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

- [1] Лебедев А.В., Малеханов А.И. Когерентная сейсмоакустика // *Изв. вузов. Радиофизика*, 2003, т. 46, №7, с. 579–597.
- [2] Авербах В.С., Артельный В.В., Боголюбов Б.Н., Заславский Ю.М., Кукушкин В.Д., Лебедев А.В., Марышев А.П., Постоенко Ю.К., Таланов В.И. Сейсмоакустическое зондирование искусственных неоднородностей в грунте // *Акуст. журн.*, 2001, т. 47, № 4, с. 437–441.
- [3] Бриллиант Л.С., Боголюбов Б.Н., Цыкин И.В., Лобанов В.Н., Новиков В.Ф., Морозов В.Ю., Потапов Г.А., Рамазанов Д.Ш., Сашнев И.А. Опыт-промышленные испытания мощного низкочастотного излучателя для интенсификации добычи нефти // *Нефтяное хозяйство*, 2000, № 9, с. 86.
- [4] Авербах В.С., Артельный В.В., Боголюбов Б.Н., Вировлянский А.Л., Малеханов А.И., Марышев А.П., Таланов В.И. Мощный внутрискважинный источник сдвиговых волн для когерентной сейсмоакустики // *Акуст. журн.*, 2005, т. 51, № 4, с. 31–45.
- [5] Заславский Ю.М. Экспериментальное исследование движения капель жидкости в капилляре под воздействием вибрации // *Акуст. журн.*, 2002, т. 48, № 1, с. 56–60.
- [6] Заславский Ю.М. Изменение проницаемости пород при воздействии вибрации // *Геофизика*, 2004, № 3, с. 40–44.
- [7] Абрашкин А.А., Авербах В.С., Власов С.Н., Заславский Ю.М., Соустова И.А., Судариков Р.А., Троицкая Ю.И. О возможном механизме акустического воздействия на частично насыщенные пористые среды // *Акуст. журн.*, 2005, т. 51, Приложение, с. 19–30.
- [8] Зайцев В.Ю., Назаров В.Е., Таланов В.И. Экспериментальное исследование самовоздействия сейсмоакустических волн // *Акуст. журн.*, 1999, т. 45, № 6, с. 799–806.
- [9] Авербах В.С., Артельный В.В., Боголюбов Б.Н., Лебедев А.В., Марышев А.П., Таланов В.И. Натурные измерения нелинейных сейсмоакустических эффектов в скальных породах // *Препринт ИПФ РАН № 663*, 2004.
- [10] Averbakh V.S., Gerdyukov N.N., Didenkulov I.N., Dudin V.I., Erunov E.N., Lobastov S.A., Maryshev A.P., Novikov S.A., Stromkov A.A., Talanov V.I. Coherence of seismoacoustic waves from explosive sources // *Proc. 17-th Int. Congress on Acoustics* (Rome, Italy, 2002), vol. 2. Phys. Acoustics, pp. 218–219.

РЕЗОНАНСНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Резонансная акустическая спектроскопия (РАС) получила широкое распространение в акустических лабораториях мира как метод измерения тензора упругости твёрдых тел с последующей диагностикой внутренней структуры измеряемого образца (аналогично оптической спектроскопии как методу диагностики молекулярного состава различных веществ по измерению резонансных линий поглощения оптического излучения). В основе метода лежит связь между спектром собственных частот образца известной геометрии с тензором упругости исходного материала. Высокая точность метода и возможность проведения измерений в случае анизотропных твёрдых тел с произвольной ориентацией осей (плоскостей) симметрии обусловила его эффективное использование для широкого круга приложений.

В Отделении метод РАС успешно развивается на протяжении последних лет в ряду перспективных методов акустической диагностики неоднородных сред. Основное продвижение в развитии этого метода связана с его применением для диагностики низкодобротных образцов реальных горных пород, резонансы которых значительно шире в сравнении с высокодобротными материалами. Физически это обусловлено наличием большого количества неоднородностей и дефектов внутренней структуры горных пород (трещин, зерен), диагностика которых, в свою очередь, и представляет практический интерес. Конкретно, метод РАС используется для решения таких задач как: (1) определение параметров трещин и диагностика начальных стадий разрушения (рис. 1) [1,2], (2) измерение частотной дисперсии скоростей упругих волн (рис. 2), что важно, например, для исследования влияния флюида, заполняющего поры [3], (3) локализация дефектов в образце и измерение их параметров [4].

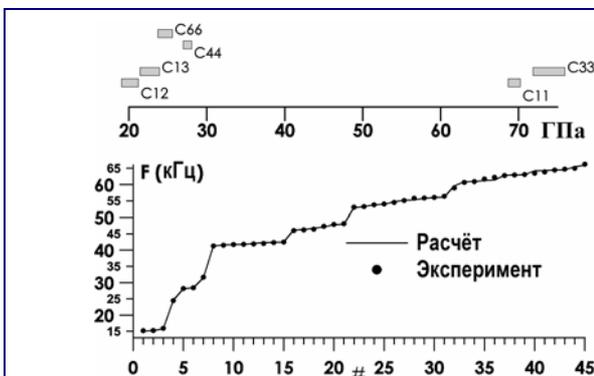


Рис. 1. Измеренная упругая анизотропия модулей упругости гранита Westerly (сверху) позволила определить концентрацию ориентированных микро-трещин (относительный объём пустот 10^{-4}). Внизу представлена соответствующая зависимость резонансной частоты от порядкового номера резонанса (моды) [2].

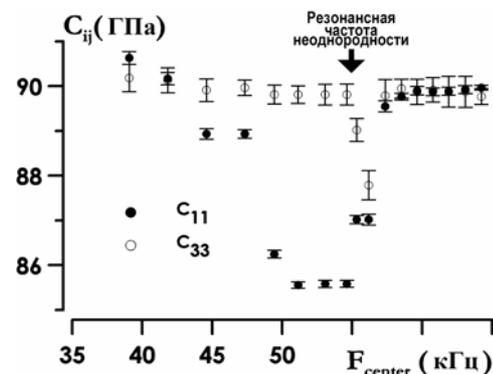


Рис. 2. Измерение анизотропии, обусловленной искусственными неоднородностями (массой не более 0.3% от массы образца) на поверхности стеклянного цилиндра. Максимальная анизотропия наблюдается в окрестности резонансной частоты колебаний на отрыв липкой ленты [3].

ИЗБРАННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

- [1] Лебедев А.В., Островский Л.А., Сутин А.М., Соустова И.А., Джонсон П.А. Резонансная акустическая спектроскопия при низких добротностях // *Акуст. журн.*, 2003, т. 49, № 1, с. 92-99.
- [2] A.V. Lebedev, V.V. Bredikhin, I.A. Soustova, A.M. Sutin, K. Kusunose. Resonant acoustic spectroscopy of microfracture in a Westerly granite sample // *J. Geophys. Res.*, 2003, v. 108, № B10, EPM11(1-12).
- [3] Лебедев А.В., Бредихин В.В., Соустова И.А. Экспериментальные методы исследования структурно-неоднородных сред: резонансная акустическая спектроскопия // *Сб. трудов семинара научной школы проф. С.А. Рыбака*, РАО, Москва, 2003, с. 77-92.
- [4] Лебедев А.В., Островский Л.А., Сутин А.М. Нелинейная акустическая спектроскопия локальных дефектов в геоматериалах // *Акуст. журн.*, 2005, т. 51, Приложение, с. 115-129.

АКУСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СИСТЕМ

Создание и эксплуатация сложных механических систем с заданными виброакустическими параметрами требует развития методов и технологий их проектирования. Актуальность этого направления в области прикладной акустики, получившего название акустического проектирования, обусловлена высокой ценой проектной ошибки и необходимостью оперативного анализа различных вариантов конструкции с целью прогноза и оптимизации виброакустических характеристик изделия в реальных условиях его функционирования.

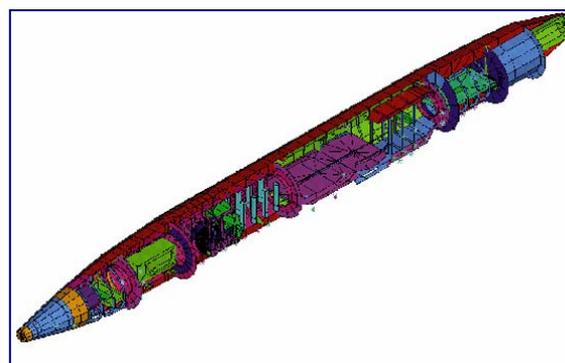
Развиваемый в Отделении подход к этой проблеме основан на *масштабном физическом моделировании* сложных виброактивных систем в натуральных условиях и их адекватном численном моделировании с использованием конечно-элементных схем. В процессе акустического проектирования создается численная модель прототипа, позволяющая детально исследовать виброакустические характеристики системы при различных вариантах конструктивных решений, создается и экспериментально апробируется модель прототипа в заданном масштабном соотношении, обеспечивающая получения данных натуральных измерений и возможность проверки рекомендаций численного моделирования. В результате достигается высокая степень соответствия модельных характеристик с характеристиками прототипа реальной системы. Одно из наиболее важных приложений такого комплексного подхода – акустическое проектирование малозумных подводных лодок следующего поколения.

Разработанная в Отделении технология акустического проектирования реализуется в следующей последовательности:



– исследование коэффициентов передачи переменных сил во внешнее поле, частот и форм акустически активных форм колебаний и эффективности примененных средств акустической защиты на масштабной физической модели конструкции, созданной по эскизным чертежам (на левом рисунке);

– создание конечно-элементной численной модели (на правом рисунке) и последующая коррекция её параметров по результатам измерений на масштабной модели в лабораторных и натуральных условиях;



– прогноз, на основе численного моделирования конструкции при заданных источниках возбуждения, величин нормируемых параметров и величин относительных вкладов отдельных механизмов в результирующее шумоизлучение;

– разработка рекомендаций по конструктивным изменениям в целях оптимизации виброакустических характеристик конструкции;

– проверка эффективности выработанных рекомендаций на масштабной модели после внесения соответствующих модернизаций.

Для реализации технологии акустического проектирования в Отделении создана специализированная измерительная техника: системы виброакустических датчиков (на модель масштаба 1:12 устанавливается до 100 контрольных датчиков), приемные гидроакустические антенны, широкополосные гидроакустические излучатели, многоканальные блоки сбора и цифровой обработки данных.

В ходе проведения работ по акустическому проектированию в Отделении были развиты и апробированы в многочисленных экспериментах акустический метод взаимности [1], голографические методы анализа акустического поля и методы синтеза гидроакустических антенн [2], методы измерений вторичных (дифрагированных) гидроакустических полей [3].



8-ми элементная излучающая гидроакустическая антенна на борту обеспечивающего судна (на полигоне Горьковского водохранилища)



Широкополосный гидроакустический излучатель (разработан для измерений по методу взаимности)



Приемная 64-х элементная гидроакустическая антенна (на полигоне оз. Санхар, Владимирская обл.)

ИЗБРАННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

- [1] Коротин П.И., Салин Б.М., Тютин В.А. Вопросы акустической диагностики виброактивных механизмов методами взаимности // *Акуст. журн.*, 1986, т. 32, № 1, с. 71-76.
- [2] Зверев В.А., Коротин П.И., Матвеев А.Л., Салин Б.М., Турчин В.И. Обращенный апертурный синтез в акустическом темном поле // *Акуст. журн.*, 2000, т. 46, № 5, с. 650-657.
- [3] Зверев В.А., Коротин П.И., Циберев А.В. Интерференционная локация высокого разрешения // *Акуст. журн.*, 2001, т. 47, № 4, с. 468-472.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЗАГЛУШЕННАЯ КАМЕРА

Наряду с натурными и численными экспериментами, большую роль в выполнении Отделением прикладных работ в области акустического проектирования играют модельные лабораторные эксперименты. Основным экспериментальным стендом здесь является Акустическая заглушенная (безэховая) камера (АЗК), оборудованная для выполнения высокоточных акустических измерений и апробации технологий акустического проектирования, включая:

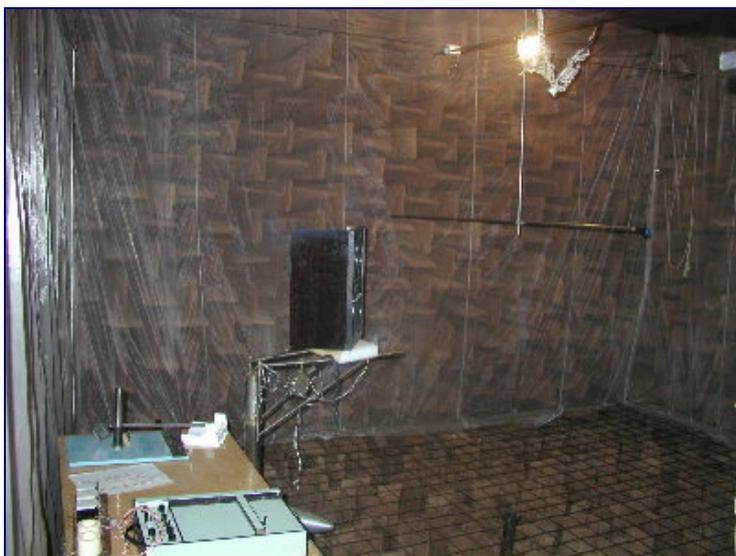
- масштабное моделирование и испытания излучающих систем и конструкций;
- тестирование акустических поглощающих материалов;
- измерение рабочих характеристик (чувствительности, частотного диапазона) и калибровка звукоприемных устройств и систем на их основе.

Технические параметры АЗК:

- рабочий объем: 100 м³
- уровень шума: 26 дБ
- частотный диапазон: от 150 Гц (отвечает условиям свободного пространства ($KCB < 5\%$)).

В состав оборудования АЗК входят:

- комплект измерительной акустической аппаратуры,
- персональные ЭВМ с платами ввода аналоговых сигналов,
- кабельные линии, динамики, поворотные устройства и другое вспомогательное оборудование.



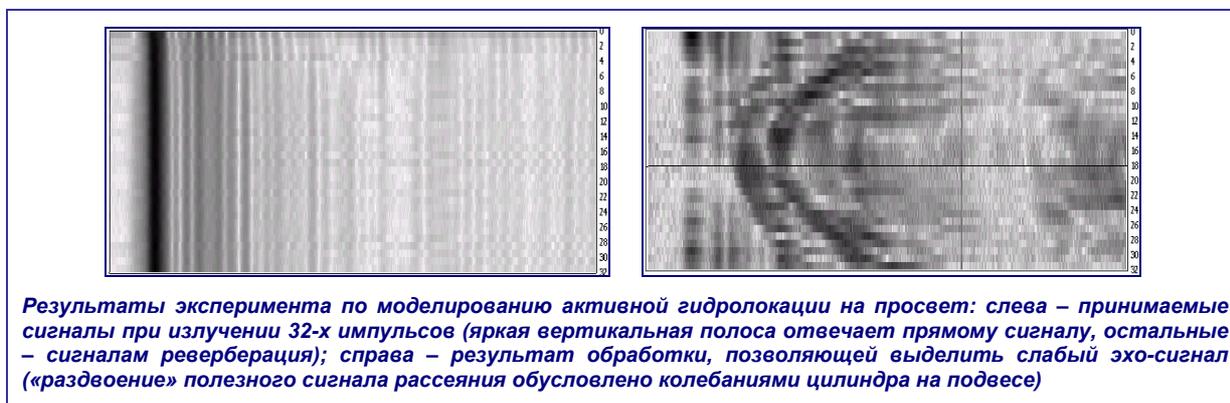
Общий вид АЗК с развернутой измерительной системой (видна отделка стен и пола поглощающими клиньями)

На базе АЗК проводятся проблемно-ориентированные исследования, в том числе, по заказам различных организаций: ОКБ Машиностроения (Ниж. Новгород), РФЯЦ–ВНИИЭФ (Саров), СПМБМ «Малахит» (С.-Петербург).

В частности, по заказу СПМБМ «Малахит» проведено комплексное испытание акустических характеристик модели новой конструкции водометного движителя на воздухе и затем в воде (в Гидроакустическом бассейне ИФФ РАН). Определены частоты и формы собственных колебаний конструкции, характеристики принятых конструктивных решений по акустической защите, сформулированы рекомендации по усовершенствованию движителя. Еще одна оригинальная разработка, апробированная на базе АЗК – параметрический микрофон, основанный на взаимодействии ультразвукового опорного сигнала с акустическими волнами звукового диапазона.

Одним из наиболее значительных результатов последних лет, полученных с использованием АЗК, является разработка принципов и создание антенного акустического комплекса для определения местоположения источников ударных волн в приложении к актуальной задаче обнаружения скрытых огневых позиций (например, снайперов). Созданные по заказу РФЯЦ–ВНИИЭФ антенные конструкции комплекса (с разнесенными приемными элементами) и разработанные при поддержке СПП РАН алгоритмы обработки сигналов регистрируемой ударной волны на фоне помех были экспериментально апробированы в АЗК, что обеспечило успешные полевые испытания комплекса.

Значительный объем выполненных в последние годы работ на базе АЗК составили также экспериментальные исследования метода темного поля в приложении к активной гидроакустической локации движущихся тел по схеме локации на просвет (см. также раздел **Акустическая томография океана**). В результате разработан и апробирован оригинальный принцип выделения слабого эхо-сигнала на фоне помех реверберации в режиме импульсной подсветки, обладающем рядом существенных преимуществ в сравнении с непрерывным режимом [1-4]. В целях физического моделирования натуральных гидролокационных экспериментов в камере была смоделирована бистатическая схема гидролокации (с разнесенным источником и приемником), при этом в качестве рассеивающего объекта использовался небольшой (порядка десяти сантиметров) закрепленный на нити цилиндр. Источник (динамик) излучал последовательность импульсов, их длительность соответствовала размерам цилиндра. В результате когерентной обработки принимаемого сигнала (содержащего прямой сигнал, полезный эхо-сигнал и помеховые сигналы реверберации) по методу темного поля удалось обнаружить и локализовать относительно слабый и флуктуирующий (из-за колебаний подвеса) сигнал рассеяния (см. рис.).



ИЗБРАННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

- [1] Зверев В.А., Коротин П.И., Циберев А.В. Интерференционная локация высокого разрешения // *Акуст. журн.*, 2001, т. 47, № 4, с. 489-493.
- [2] Зверев В.А., Коротин П.И. О возможности благоприятного влияния поверхностной реверберации на выделение дифрагированного сигнала // *Акуст. журн.*, 2002, т. 48, № 3, с. 353-358.
- [3] Зверев В.А., Коротин П.И. Качественное отличие полезного сигнала от поверхностной реверберации при когерентном накоплении импульсов активной локации // *Акуст. журн.*, 2003, т. 49, № 1, с.73-80.
- [4] Зверев В.А., Коротин П.И. Определение силы цели рассеивателя с использованием поверхностной реверберации // *Акуст. журн.*, 2003, т. 49, № 2, с.178-182.