АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2000, том 46, № 1, с. 127–130

ИНФОРМАЦИЯ

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ
L. M. Brekhovskikh, O. A. Godin. Acoustics of Layered Media. I. Plane and Quasi–Plane Waves. 1998. (242 pp.); II. Point Sources and Bounded Beams. 1999. (524 pp.). Berlin, Springer

Все природные среды – атмосфера, океан и земная кора, а также разнообразные технические устройства (ультразвуковые фильтры, линзы, линии задержки на поверхностных волнах и т.п.) являются слоистыми структурами. Вследствие этого, слоистая модель среды занимает совершенно особое место в теории распространения атмосферного и подводного звука, внутренних, сейсмических и радиоволн. Сама модель непрерывно совершенствуется и усложняется; разрабатываются все новые как аналитические, так и численные методы исследования волновых полей в слоистых средах, быстро растет число прикладных задач, решаемых на основе слоистой модели, увеличивается круг исследователей, вовлеченных в данную проблематику. Выход второго переработанного и расширенного издания двухтомной монографии "Акустика слоистых сред" представляется вполне своевременным. Монография подводит итоги развития теории распространения волн в слоистых средах за последние 8–10 лет, прошедших с момента ее первого издания (1990–1992).

Первый том монографии, в котором рассматриваются плоские и квази-плоские волны, претерпел лишь незначительные изменения по сравнению с первым изданием: несколько улучшен английский язык с помощью канадских коллег, исправлены опечатки в тексте и формулах и, что наиболее важно, значительно увеличено число цитируемых статей и книг (более 90 новых ссылок), опубликованных в 1990 г. или позже. Внесены также незначительные коррективы в трактовку ряда вопросов с целью сделать их изложение более ясным и тесно связанным с последними публикациями. Структура первого тома второго издания (как и первого издания) такая же как у первых 10 параграфов русской версии книги этих же авторов "Акустика слоистых сред" (Наука, 1989), только теперь каждый параграф превратился в отдельную главу.

Поскольку рецензии на первое издание данной монографии в печати не было, то целесообразно дать краткую характеристику содержания ее второго издания. Первый том состоит из 10 глав. Первая глава содержит изложение теории распространения волн с гармонической зависимостью от горизонтальных координат и времени. Выведены волновые уравнения, граничные и начальные условия, а также условия на бесконечности для звука и упругих волн в твердом теле. Особо следует отметить вывод модифицированных волновых уравнений, не содержащих производных от параметров среды. Получено также волновое уравнение для слоистой движущейся среды.

Во второй главе рассмотрено отражение плоских волн от границы раздела двух однородных сред, плоского слоя, а также от произвольного числа слоев. На основе обобщения понятия импеданса волны на движущиеся слоистые среды, рассмотрено отражение плоской волны от дискретно-слоистой среды общего вида.

Третья глава посвящена проблеме отражения плоских волн от непрерывно-слоистых сред. Детально проанализированы случаи, допускающие точное решение одномерного волнового уравнения в жидкости с непрерывно стратифицированной плотностью и скоростями звука и течения. Из этих решений, как предельный случай, следуют все ранее известные решения.

В четвертой главе рассмотрено отражение плоских волн от границ дискретно-слоистых твердых сред. Получены выражения для коэффициентов отражения от границ упругих полупространств и системы твердых слоев. Следует отметить эффективное использование матричного формализма при описании волн в твердых телах, что позволяет избежать громоздкости получающихся формул и делает результаты более наглядными и легко алгоритмизуемыми.

В пятой главе рассматривается отражение звуковых импульсов. Получено интегральное представление звукового поля, установлен закон сохранения интегрального импульса, исследовано изменение формы импульса при полном внутреннем отражении от границы двух однородных сред, исследовано полное отражение импульса в непрерывно-слоистых средах.

В шестой главе установлены и проанализированы универсальные свойства коэффициентов отражения и прохождения для монохроматических плоских волн. Эти свойства не зависят от вида слоистой среды. Получены соотношения симметрии для коэффициентов отражения по отноше-

нию к обращению направления распространения волн в жидкости. Ряд соотношений симметрии установлен для твердых тел. Большое внимание уделено анализу особенностей (полюсов, точек ветвления) коэффициентов отражения и прохождения, что очень важно при исследовании поля точечного источника в слоистой среде методом разложения по плоским волнам. Описан класс слоистых сред, коэффициент отражения которых равен нулю при заданных значениях частоты и угла падения. Этот результат имеет очевидное прикладное значение.

В седьмой главе рассматриваются волны в поглощающих и анизотропных средах. Проанализировано влияние поглощения и дисперсии на распространение волн в жидких и твердых средах. Эффекты анизотропии наиболее существенны в твердых телах – в частности, в кристаллоакустике и сейсмологии. Более подробно рассмотрено два случая: распространение волн в пьезоэлектриках (включая волны Гуляева–Блюмштейна) и упругие волны в трансверсально изотропных твердых телах (мелкослоистые среды).

Восьмая глава посвящена геометрической акустике и приближенным (главным образом, асимптотическим) методах исследования волновых полей. Центральное место уделено методу ВКБ. Сформулированы необходимые и достаточные условия применимости метода ВКБ, в том числе вблизи точек поворота и горизонтов резонансного взаимодействия. Проанализировано различие лучевых картин в неподвижной и движущейся средах.

В девятой главе исследовано звуковое поле при наличии горизонтов поворота и взаимодействия звука с потоком. С использованием эталонного уравнения построены высокочастотные асимптотики звукового поля в окрестности горизонтов поворота, при отражении от "потенциального" барьера, оценена точность асимптотических решений и их связь с приближением ВКБ. Детально разработана теория резонансного усиления звука вследствие взаимодействия его с потоком при произвольном сближении горизонтов синхронизма и поворота волны. К сожалению, этот интересный эффект, не может реализоваться ни в океане, ни в атмосфере, так как скорости течений в этих средах малы. Возможно, он представит интерес для аэроакустики при отражении звука от стратифицированной реактивной струи.

В десятой главе рассмотрено отражение звука от среды с произвольным законом изменения плотности и скоростей звука и течения по вертикальной координате. Получено уравнение Риккати для коэффициента отражения и рассмотрены различные приближенные методы его решения. Предложен новый подход к анализу отражения от тонкого (по сравнению с длиной волны звука) неоднородного слоя. Этот подход позволил описать некоторые вырожденные случаи, что не удавалось сделать прежними методами.

Второй том подвергся значительно более существенным изменениям при втором издании, чем первый том. Это обусловлено тем, что в нем рассматриваются проблемы повышенной сложности, многие из которых остаются на переднем фронте современных исследований. В настоящее время интерес исследователей все больше смещается в сторону двух- и трехмерных неоднородных сред. Развитию теории распространения волн именно в таких средах уделено весьма значительное место. В результате возникла необходимость дополнить второе издание еще одной большой главой (глава 8) и двумя развернутыми приложениями (Приложения B и C), что увеличило объем книги более чем на 25%. Эти дополнения опираются на новые оригинальные результаты одного из авторов (ОГ). Список литературы, и так весьма обширный, увеличен по сравнению с первым изданием еще на 360 новых ссылок, что позволит читателям быть в курсе самых последних достижений в данной области.

Второй том состоит из 8 глав. В первой главе на основе представления звукового поля в виде суперпозиции плоских волн исследовано отражение и преломление сферической волны на плоской границе сред. Получено интегральное представление отраженного поля и его равномерная асимптотика, в том числе при учете поглощения и относительного движения граничащих сред. Рассмотрено отражение от импедансной поверхности, границы сред с перепадом плотности. Детально исследован наиболее сложный с теоретической точки зрения случай отражения от слабых границ.

Вторая глава посвящена отражению ограниченных волновых пучков. Основное внимание уделено эффекту смещения пучка вдоль отражающей поверхности. Построена строгая теория этого явления, установлена его зависимость от различных параметров задачи. Рассмотрены незеркальные эффекты, возникающие при отражении пучка.

В третьей главе изложена теория боковых волн. Развита методика расчета боковых волн в слоисто-неоднородных средах как для точечного (ненаправленного), так и направленного источника. Дана физическая интерпретация боковой волны и проанализированы области ее наблюдения. Исследовано влияние поглощения и движения среды на характеристики боковых волн. В приближении метода малых возмущений рассмотрено рассеяние боковых волн на малых случайных неровностях на границе сред. Показано, что при определенных условиях неровности приводят к увеличению интенсивности боковой волны.

В четвертой главе развита теория звукового поля точечного источника в горизонтально-стратифицированных жидких средах как неподвижных, так и движущихся. Выведено волновое уравнение для нестационарно движущейся среды. Получены точные волновые уравнения для ряда частных случаев: стационарное движение, медленные движения, неподвижная среда. Обсуждаются вопросы взаимности звуковых полей, доказана теорема обращения потока для слоистой движущейся среды. Приведен ряд точных решений волновых уравнений в неподвижной среде для различных вертикальных профилей скорости звука. Получены и проанализированы моды в движущейся среде, возбуждаемые линейным или точечным источниками.

В пятой и шестой главах рассматриваются высокочастотные звуковые поля. Изложены основы метода геометрической акустики для монохроматических волн в стационарной трехмерно–неоднородной движущейся среде. Получены уравнения эйконала и переноса излучения. С помощью эталонных интегралов и эталонных функций получены равномерная и локальная асимптотика вблизи простой каустики и при наличии точки возврата каустики. Рассмотрены и более сложные особенности лучевых структур.

В седьмой главе изложена теория распространения волн в нерегулярных волноводах, свойства которых изменяются вдоль трассы распространения. Эта задача является значительно более сложной, чем распространение волн в идеально слоистой среде. Основная трудность связана с взаимодействием мод в нерегулярных волноводах и появлением волн, распространяющихся в обратном направлении. Авторы существенно развили теорию связанных мод. Дальнейшее развитие получил метод поперечных сечений, основанный на понятии волновода сравнения. Получено уравнение связанных мод и дано его решение методом последовательных приближений. Особое внимание уделено распространению волн в трехмерных нерегулярных волноводах. Для решения задач такого типа широко использован метод двухмасштабных разложений (в акустике океана это приближение обычно называют "горизонтальные лучи и вертикальные моды"). Метод обобщен на случай трехмерной неоднородной движущейся среды. Установлены адиабатические инварианты, доказана теорема обращения потока для мод. Дан анализ особенностей звукового поля вблизи критического сечения волновода. Разработана лучевая теория поля в нерегулярном волноводе с учетом движения среды. Исследовано новое поколение параболических уравнений. Использование этих уравнений позволило значительно повысить точность вычисления амплитуд связанных мод без ущерба для точности вычисления фаз. Новый класс параболических уравнений, обобщенный на случай движущейся среды, обеспечивает выполнение закона сохранения и принципа взаимности для акустического поля при распространении в волноводе.

Новая восьмая глава посвящена проблемам взаимности волн и сохранения волновой энергии в трехмерно-неоднородных движущихся средах. В последнее время в решении этой довольно сложной проблемы достигнут значительный прогресс. Благодаря выбору нестандартных переменных для описания волнового поля удалось кардинально упростить уравнения линейной акустики движущейся среды и граничные условия. Это позволило достаточно просто вывести соотношения взаимности и закон сохранения волновой энергии при весьма общих предположениях. На основе предложенного метода можно одновременно рассматривать акустические, акустогравитационные, а также волны в несжимаемой жидкости.

В Приложении А изложены основы метода эталонных интегралов, которые встречаются при изучении поля точечного источника в слоистых средах, распространении импульсов в диспергирующих средах, дифракции волн на различных телах, квантовой теории столкновений и других физических проблемах. Рассмотрены различные методы вычисления эталонных интегралов: наибыстрейшего спуска, перевала и стационарной фазы. Исследована асимптотика различных эталонных интегралов.

В Приложении В рассматриваются дифференциальные уравнения для связанных мод в волноводах с наклонными границами и поверхностями раздела сред. В данном случае вывод уравнений связанных мод основан на использовании принципа взаимности, а не волнового уравнения, что позволило преодолеть ряд математических трудностей, встречающихся при традиционном подходе. Важным результатом является доказательство того, что представление акустического поля в виде суммы связанных мод в волноводе с наклонными границами вполне оправдано. Тем самым был положен конец продолжительной дискуссии (главным образом, среди англоговорящих акустиков) по данной проблеме.

Приложение С посвящено анализу особенностей распространения волн в нерегулярных волноводах в рамках параболических уравнений нового поколения. По существу данное Приложение является дополнением к главе 7. Основное внимание авторов сосредоточено на вопросах взаимности волн и законе сохранения волновой энергии в различных физических ситуациях.

Говоря о монографии в целом, прежде всего следует отметить ее фундаментальный характер. Данная монография дает наиболее полное и систематическое изложение современной теории

распространения волн в слоистых средах. Исходя из первых принципов, авторы последовательно подводят читателя к самым последним результатам в рассматриваемой области и знакомят с наиболее эффективными теоретическими методами исследования. Строгое изложение теории удачно сочетается с анализом возможных практических приложений. Из сложных математических формул авторы стараются извлекать физически значимые следствия, математические преобразования, как правило, предваряются качественными соображениями. Объем представленного материала огромен (свыше 760 стр.). Поэтому естественно, что некоторые разделы книги изложены относительно кратко и чтение их требует определенного труда.

Отдельные разделы монографии могут быть использованы как основа для создания курсов лекций для студентов и аспирантов по теории распространения волн различной физической природы в неоднородных средах. Для исследователей, активно работающих в различных разделах акустики, а также сейсмики и электромагнитных волн, монография представляет ценное пособие. Для дальнейшего развития исследований в России и ряде других стран бывшего СССР по распространению волн была бы полезной публикация данной монографии на русском языке.

Ю. П. Лысанов