



## О ДВИЖЕНИИ ВОЛН АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ С БОЛЬШИМИ СКОРОСТЯМИ

**А. Я. НЕДОСЕКА, С. А. НЕДОСЕКА, И. Г. ВОЛОШКЕВИЧ**

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены цилиндрические волны, возникающие от действия точечного источника возбуждения, расположенного в пластине на различной глубине, и распространяющиеся со скоростями выше продольной скорости распространения волны в металле  $C_1$ . Показано, что появившиеся элементарные волны двигаются индивидуально или группами с различными скоростями. Эти волны характеризуются практически бесконечным набором по волновым числам и скоростям. Суммарное действие элементарных волн вызывает перемещения поверхности пластины, состоящее из двух частей — суммарной волны, двигающейся с изменяющимся спектром и амплитудой, и фоном на всей поверхности пластины, сопровождающим суммарную волну. Количество элементарных волн в общем пакете уменьшается с увеличением скорости их движения. Уменьшение количества волн происходит за счет волн, движущихся с высокими скоростями. Показано, что с помощью фильтрации акустико-эмиссионных сигналов можно изменять их расчетные параметры, выбирая наиболее эффективные для работы измерительной аппаратуры и технологии контроля. Выборочной фильтрацией в определенном диапазоне скоростей можно формировать суммарную волну, распространяющуюся по поверхности пластины с заданной постоянной скоростью. Подтверждено, что в пластинах в результате действия точечного источника излучения появляется и распространяется волна с независимой от волнового числа скоростью  $C_1$ . Получена аналитическая зависимость для расчета таких волн. Библиогр. 10 назв., ил. 7.

*Ключевые слова:* акустическая эмиссия, волны перемещения, скорости, волновые числа, спектр, фильтрация

Создание интеллектуальных конструкций требует более детального анализа состояния их материалов как на стадии испытаний, так и в процессе эксплуатации. При решении этого вопроса все большее значение приобретает метод акустической эмиссии (АЭ), позволяющий осуществлять 100%-й контроль и диагностику всего объема материала конструкции и прогнозировать его состояние и возможность и далее нести рабочую нагрузку [1–8].

В связи со сказанным, практический интерес для разработчиков алгоритмов оценок состояния материалов конструкций, математического обеспечения на его основе и собственно АЭ аппаратуры представляют характеристики акустических волн, распространяющихся в пластинах при возникновении точечного источника возбуждения. Зная характеристики волн, воспринимаемых датчиками АЭ, можно более точно строить алгоритмы для одного из самых сложных вопросов теории прогнозирования — вопроса возвращения от характеристик сигнала АЭ, зарегистрированного прибором, к реальному сигналу, возникшему непосредственно в месте дефекта. Кроме того, знание этих характеристик позволяет более надежно выбирать диапазоны рабочих частот датчиков АЭ для тех или иных условий контроля.

Рассмотрим пластину больших размеров, в которой на глубине  $z_0$  возник и исчез точечный источник возбуждения АЭ (рис. 1). Дифференциальные уравнения, описывающие волновые процессы, в таком случае могут быть представлены в виде [4, 5]:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} - \frac{1}{C_1^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = \\ & = - \frac{1 + \nu}{1 - \nu} \frac{V_0^*}{2\pi r} \delta(r) \delta(z - z_0) \delta(p \pm \alpha C_\alpha), \\ & \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} - \frac{1}{C_2^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\alpha$  — волновые числа,  $\text{см}^{-1}$ ;  $p$  — комплексная частота,  $\text{с}^{-1}$ ;  $C_\alpha$  — скорость распространения элементарной волны;  $C_1$  и  $C_2$  — скорости распространения продольной и поперечной волн соответственно.

Начальные условия задачи определяются дельта-функцией по времени  $\delta(t)$ , которая указывает на то, что в момент времени  $t = 0$  возник и исчез источник возбуждения АЭ. Остальные дельта-функции характеризуют локальность воздействия источника и линейную связь комплексной частоты  $p$ , переданной источником пластине, с волновыми числами  $\alpha$  и скоростями распространения элементарных волн  $C_\alpha$ . Граничные условия: нап-

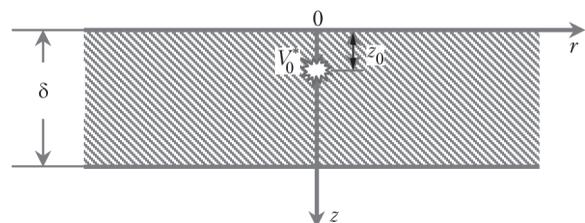


Рис. 1. Пластина с источником возмущения на глубине  $z_0$



ряжения  $\sigma_z$  и  $\tau_{rz}$  на свободных поверхностях пластины  $z = 0$  и  $z = \delta$  должны быть равны нулю. После прямых преобразований Лапласа и Ханкеля уравнения (1) примут вид:

$$\begin{aligned} -\left(\alpha^2 + \frac{p^2}{C_1^2}\right)\bar{\varphi} + \frac{\partial^2 \bar{\varphi}}{\partial z^2} &= -\frac{1+\nu}{1-\nu} \frac{V_0^*}{2\pi} \delta(z-z_0) \delta(p \pm \alpha C_\alpha); \\ -\left(\alpha^2 + \frac{p^2}{C_1^2}\right)\bar{\psi} + \frac{\partial^2 \bar{\psi}}{\partial z^2} &= 0. \end{aligned} \quad (1a)$$

Процедура решения уравнений (1a) достаточно подробно описана в работах [4, 5]. Запишем полученное спектральное уравнение распространяющейся волны и формулу для расчета перемещений наружной ( $z = 0$ ) поверхности, вызванных движением этой волны. Такой случай предусматривает расположение датчиков АЭ на наружной поверхности (с координатой  $z = 0$ ). Спектральное уравнение, описывающее зависимость между волновыми числами  $\alpha$  и скоростями распространения упругих АЭ волн  $C_\alpha$ , можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} 2(1-\gamma_2^2)^2 \cos(\alpha\gamma_1\delta) \sin(\alpha\gamma_1z_0) \sin(\alpha\gamma_2\delta) + \\ + 8\gamma_1\gamma_2 \sin(\alpha\gamma_1\delta) \sin(\alpha\gamma_1z_0) \cos(\alpha\gamma_2\delta) + \\ + \left[ \Gamma \cdot 4\gamma_1\gamma_2 - (1-\gamma_2^2)^2 \right] \times \\ \times \sin(\alpha\gamma_1\delta) \cos(\alpha\gamma_1z_0) \sin(\alpha\gamma_2\delta) = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{C_\alpha^2}{C_1^2} - 1}; \quad \gamma_2 = \sqrt{\frac{C_\alpha^2}{C_1^2} 1,87^2 - 1}; \quad \Gamma = \frac{4\gamma_1\gamma_2}{(1-\gamma_2^2)^2}.$$

Зная выражение для расчета перемещений  $w$  в зависимости от функций напряжений  $\bar{\varphi}$  и  $\bar{\psi}$  [4]:

$$\bar{w} = \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial z} + \alpha^2 \bar{\psi},$$

и подставив в него  $\bar{\varphi}$  и  $\bar{\psi}$ , найденные из уравнений (1a), после выполнения обратных преобразований Лапласа и Ханкеля получим формулу для определения перемещений  $w$  внешней поверхности пластины  $z = 0$ :

$$\begin{aligned} w = \frac{1+\nu}{1-\nu} \frac{V_0^*}{2\pi^2} \times \\ \times \int_0^\infty \left(1 - \frac{2}{1-\gamma_2^2}\right) \alpha \cos(\alpha\gamma_1z_0) \sin(\alpha C_\alpha t) J_0(\alpha r) d\alpha. \end{aligned} \quad (3)$$

Одним из решений спектрального уравнения является случай, когда  $\gamma_1 = 0$ . Эти условия выполняются, если  $C_\alpha = C_1 = \text{const}$ . Для такой волны, распространяющейся с постоянной, независимой от

волнового числа  $\alpha$  скоростью, приведенный выше интеграл может быть найден аналитически [9, 10]:

$$w = \frac{1+\nu}{1-\nu} \frac{V_0^*}{2\pi^2} \left(1 - \frac{2}{1-\gamma_2^2}\right) \frac{C_1 t}{(r^2 - (C_1 t)^2)^{3/2}}. \quad (4)$$

Эта формула описывает волну Лэмба для тонких пластин, распространяющуюся со скоростью  $C_1$ .

Спектральное уравнение (2) имеет решения также при значении  $z_0 = 0$ . Первое решение определяет состав волны, распространяющейся по пластине со скоростями выше  $C_1$ . Второе, полученное приравниванием нулю выражения в квадратных скобках, выделяет волну Рэлея, двигающуюся с постоянной скоростью  $C_3 = 0,927C_2$ . Формулу, определяющую параметры этой волны, можно получить из общего выражения для расчета перемещений  $w$  из выражения (3):

$$w = \frac{1+\nu}{1-\nu} \frac{V_0^*}{2\pi^2} \left(1 - \frac{2}{1-\gamma_2^2}\right) \frac{C_1 t}{(r^2 - (C_3 t)^2)^{3/2}}.$$

Эта формула идентична формуле (4), где вместо скорости продольной волны  $C_1$  подставлена скорость волны Рэлея  $C_3$ .

Для выполнения расчетов была создана специальная программа, учитывающая особенности решаемой задачи и требования к оформлению результатов (рис. 2). Программа позволила оптимизировать выполнение расчетных операций по времени и быстро получить необходимый результат. Кроме того, она позволила ввести данные расчета в Microsoft Office Excel, что дало возможность легко оперировать с материалами расчета, изменять необходимые параметры и получать достаточно представительные графики для использования их при оформлении отчетов и подготовке

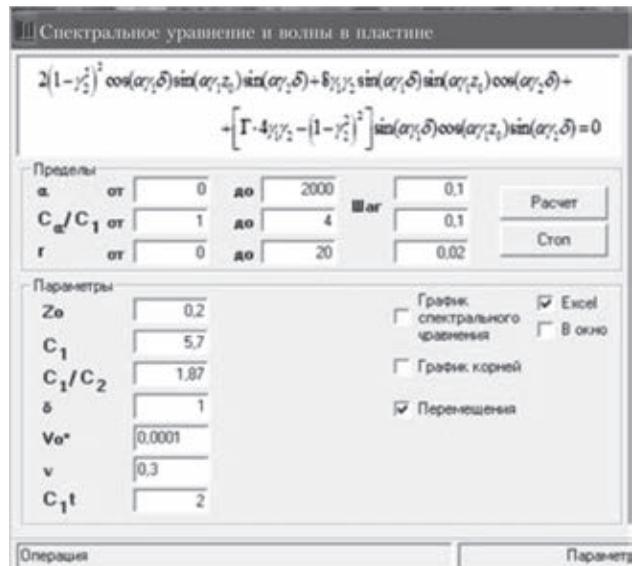


Рис. 2. Окно программы расчета параметров АЭ волн по данным аналитических исследований



статей. Расчеты выполнялись для пластины из стали 09Г2С при  $C_1 = 0,57 \cdot 10^6 \text{ см/с}$ ;  $\nu = 0,3$ ; величина объемной деформации принималась равной  $V_0^* = 4,2 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3$  [4].

На рис. 3 представлены графики спектрального уравнения и его корней для  $C_\alpha/C_1$  в зависимости от величины волновых чисел  $\alpha$ . Видна достаточно сложная картина как пересекающихся кривых решения спектрального уравнения, так и элементарных волн, которые, суммируясь, будут образовывать реальные волны, распространяющиеся по пластине. На рисунках для наглядности представлена информация для ограниченного числа скоростей и волновых чисел. В данном случае максимальное отношение  $C_\alpha/C_1$  принято равным 25. Можно убедиться, что волны АЭ в пластинах состоят, по-видимому, из сотен элементарных волн, которые в процессе распространения взаимодействуют, образуя реальную, изменяющуюся при движении сложную волну. Видно, что скорости распространения элементарных волн носят пери-

одический характер, а при определенных значениях волновых чисел  $\alpha$  кривые зависимостей скоростей элементарных волн резко поднимаются вверх, т. е. при определенных  $\alpha$  происходит увеличение скоростей их распространения, что приводит к образованию пакетов, все время меняющих свое значение и положение. На графике такие точки можно отметить, например, для  $\alpha = 106,8$ ;  $107,7$  и  $108,3 \text{ см}^{-1}$ . Хотя на рисунке приведен срез по волновым числам от 100 до  $110 \text{ см}^{-1}$ , картина является типичной для всего диапазона изменения чисел  $\alpha$ . Волнистые кривые  $C_\alpha/C_1$  периодически резко устремляются вверх, образуя такие же периодические изменения пакетов суммарной волны. Если рассмотреть более полную картину возникших и распространяющихся в пластине волн, то картина будет значительно сложнее.

На рис. 4 приведены результаты расчета параметров суммарной волны АЭ, распространяющейся по стальной пластине толщиной 1 см, когда источник возмущения возник и исчез на глубине 0,2 см. Указанная волна получена путем числен-

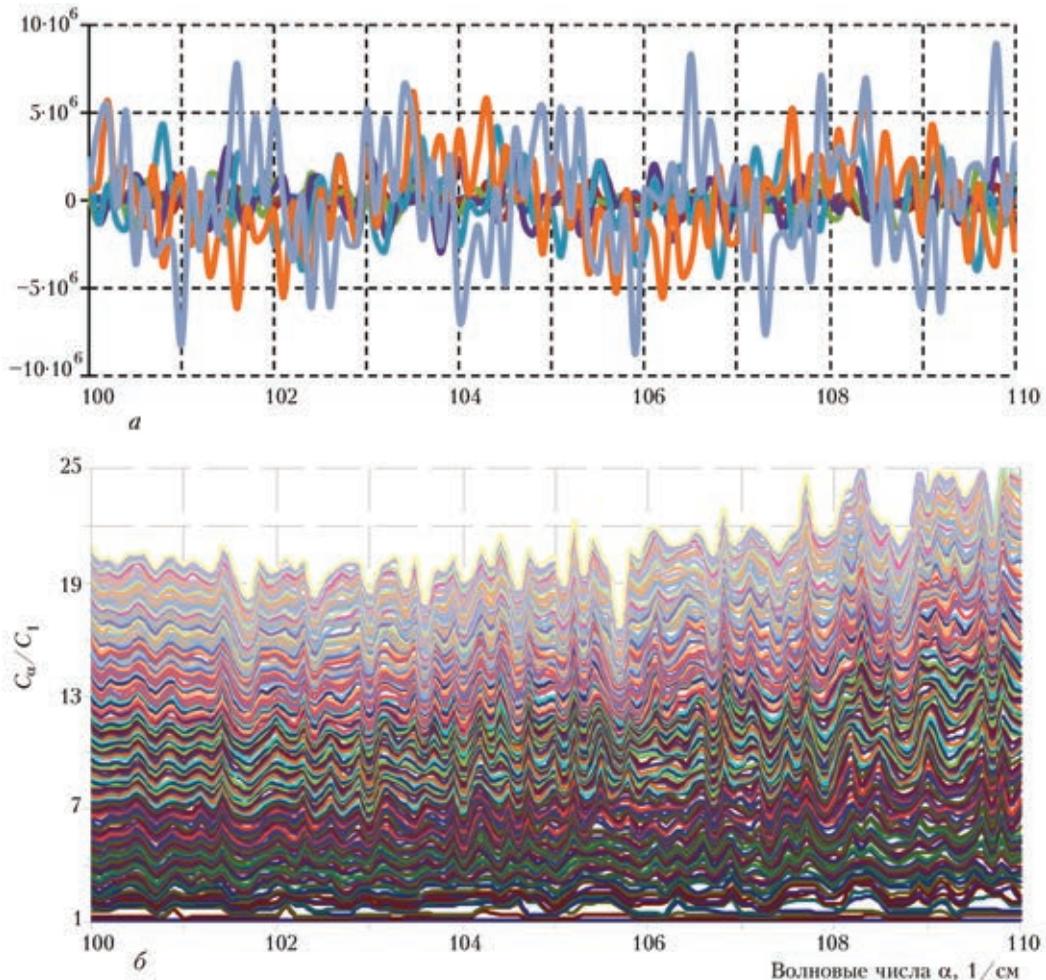


Рис. 3. Графическое изображение спектрального уравнения для стальной пластины толщиной 1 см с источником возмущения на глубине 0,2 см (для наглядности большая часть элементарных волн выведена из рассмотрения) (а) и корней спектрального уравнения в зависимости от волнового числа  $\alpha$  в пределах 25-кратных значений скоростей по отношению к скорости  $C_1$  (различным цветом отмечены порядки элементарных волн) (б) (на рис. 3, а:  $\alpha = 100 \dots 110$ ;  $\Delta\alpha = 0,1 \text{ см}^{-1}$ ;  $C_\alpha/C_1 = 1 \dots 25$ ;  $\Delta(C_\alpha/C_1) = 2$ ; на рис. 3, б:  $\Delta(C_\alpha/C_1) = 0,1$ )

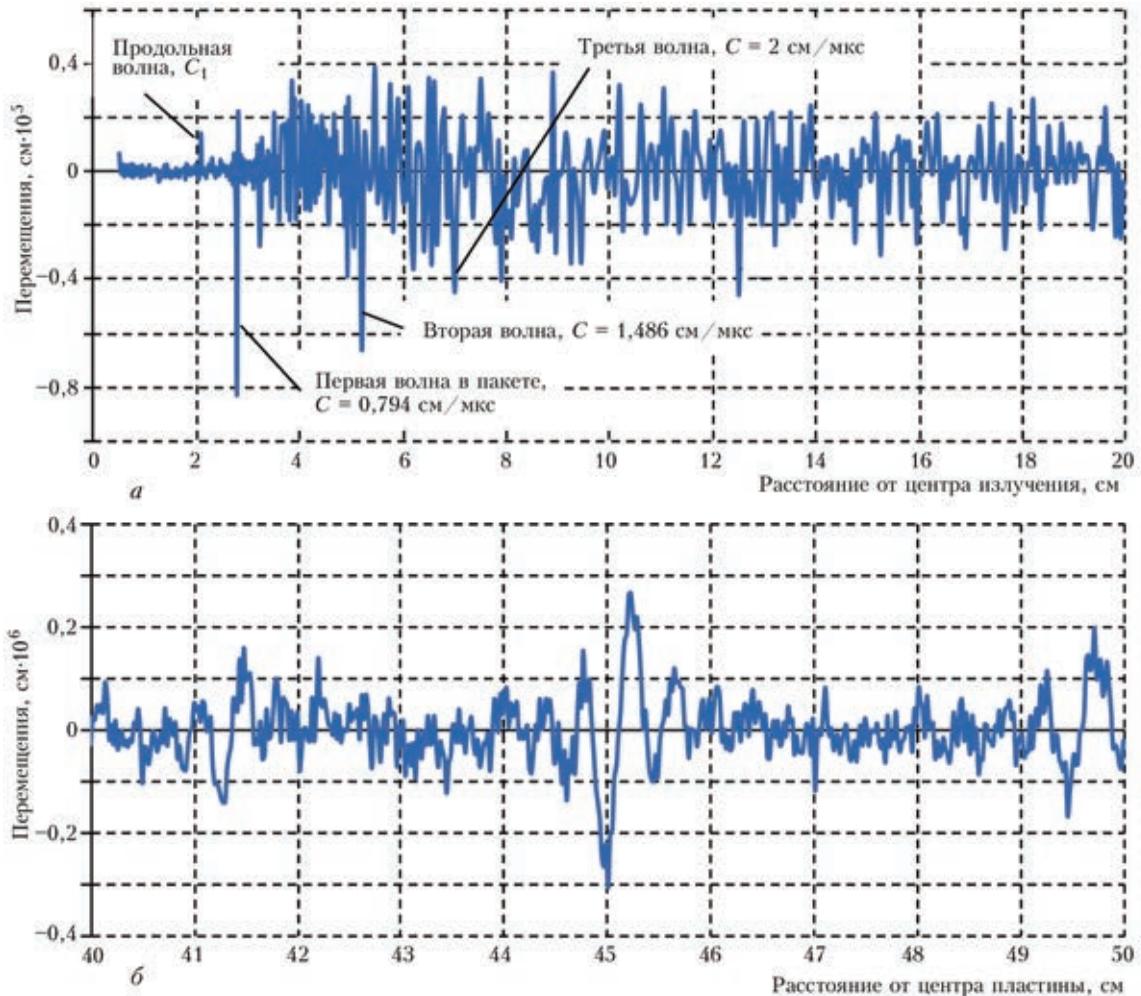


Рис. 4. Распределение перемещений поверхности стальной пластины толщиной 1 см с источником возбуждения на глубине 0,2 см через 3,5 мкс (а) и 73,2 мкс (б) после начала действия источника (исходные данные для расчета:  $\alpha = 0 \dots 2000$ ;  $\Delta\alpha = 0,1 \text{ см}^{-1}$ ;  $C_\alpha/C_1 = 1 \dots 4$ ;  $\Delta(C_\alpha/C_1) = 0,5$ ;  $\Delta r = 0,02 \text{ см}$ )

ного интегрирования выражения (3). В крайней левой части графика показана волна Лэмба с амплитудой  $w = 0,14 \cdot 10^{-5} \text{ см}$  и скоростью  $C_1 = 0,57 \cdot 10^6 \text{ см/с}$ . До волны, двигающейся со скоростью  $C_1$ , никаких других волн нет. На графике виден только шумовой фон. За продольной волной  $C_1$  появляются распространяющиеся на большое расстояние пакеты волн с различными амплитудами и скоростями. Видны наглядно выраженные пики амплитуд распространяющейся суммарной волны. Такие пики, все время меняющие свое положение и скорость, могут приводить к ошибкам в локации сигналов АЭ при определении координат мест возникновения вспышки АЭ. Показанное на графике волновое поле нестабильно и существует только в данный момент времени. В последующие моменты форма волны и величины амплитуд волн, входящих в пакет, меняются.

Отметим, что численные расчеты, проведенные авторами, показали, что часть элементарных волн при  $C_\alpha/C_1 = \text{const}$  по мере увеличения числа корней спектрального уравнения, вводимых в рас-

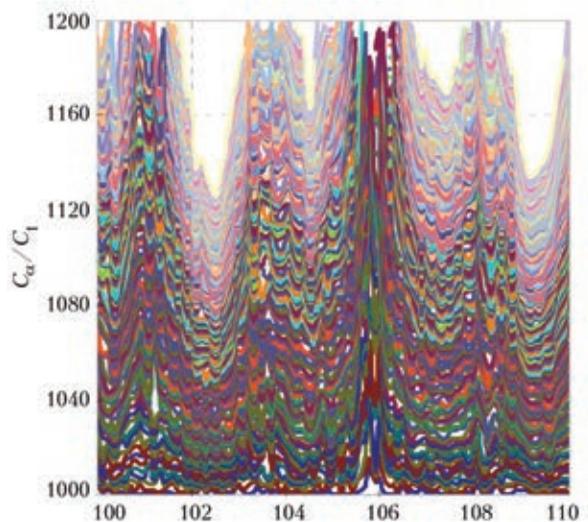


Рис. 5. Спектр элементарных волн в пластине толщиной 1 см, распространяющихся с большими скоростями:  $\Delta\alpha = 0,1 \text{ см}^{-1}$ ;  $\Delta(C_\alpha/C_1) = 1$  (на рис. 4, 5 для удобства анализа перемещения пластины вверх приняты положительные)



чет, постепенно стремится к 1, тем самым подтверждая, что начальной волной в пакете является продольная волна (черная прямая в нижней части графика (рис. 3, б)).

Анализируя далее графики, представленные на рис. 3, видим, что при выбранных условиях счета с увеличением скорости элементарных волн их количество уменьшается. Отмечается обеднение спектра количеством волн, начиная от  $C_\alpha/C_1$ , примерно равном 24. Как видно, появляются области, где волн при определенных скоростях вообще нет. Чуть ниже область  $C_\alpha/C_1$  заполнена элементарными волнами,двигающимися с большими скоростями. Расчеты, выполненные для больших значений  $C_\alpha/C_1$ , показывают, что и при таких больших скоростях элементарные волны распределяются примерно также, как и при более низких (рис. 5). Периодически возникают области, свободные от волн. Элементарные волны, суммируясь, создают общую картинудвигающихся волн, создавая также и волновой фон, являющийся помехой при регистрации АЭ и требующий учета при проектировании АЭ аппаратуры и создании алгоритмов и программ расчета координат АЭ событий, формировании решения о состоянии материалов конструкций. Под влиянием элементарных волн основные волны частично меняют свою конфигурацию, которая по форме и величине амплитуд все время претерпевает изменения по мере распространения волны.

Существенное значение при приеме и расшифровке АЭ сигналов имеет их фильтрация аппаратными способами или с помощью математической обработки. На рис. 6, а показаны сигналы АЭ, прошедшие математическую обработку в диапа-

зоне волновых чисел от 100 до 200  $\text{см}^{-1}$  с шагом 0,1  $\text{см}^{-1}$ . При этом скорости распространяющихся элементарных волн  $C_\alpha$  были ограничены диапазоном от  $C_1$  до  $3C_1$  с шагом 0,1. Из рисунка видно, что фильтрацией удалось выделить сигнал АЭ с достаточно большой амплитудой, перемещающийся со скоростью  $0,8 \cdot 10^5$   $\text{см}/\text{с}$ . Полученный сигнал отличается от полного суммарного сигнала, приведенного на рис. 4. Так, на рис. 6, б представлены графики последовательной фильтрации сигналов АЭ в узком по радиусу диапазоне от 1 до 1,5 см. Фильтрация проводилась при постоянных параметрах шага по волновым числам  $\Delta\alpha = 0,0625$   $\text{см}^{-1}$  в диапазоне  $\alpha = 0 \dots 2000$   $\text{см}^{-1}$ . Параметром фильтрации выбрали скорость распространения элементарных волн в диапазоне  $C_\alpha/C_1 = 1 \dots 3$ . Шаг фильтрации: 0,05; 0,02; 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125 отн. ед. (рис. 6, б). В первом из вариантов расчета также повысили предел фильтрации по скорости до 6 ед. Как видно из рисунка, это практически не повлияло на величину амплитуды сигнала. Анализируя графики, можно сделать заключение — фильтрация по скоростям в узком по радиусу диапазоне с уменьшающимся шагом выборки приводит к простому увеличению амплитуды суммарного сигнала в связи с тем, что в процесс суммирования вовлекается все большее количество элементарных волн. Таким образом, в зависимости от требований к контролю, фильтрацией АЭ сигналов можно подобрать выходные сигналы, наиболее эффективные для локации развивающихся дефектов и их расшифровки для принятия решений о состоянии конструкции. Так, на рис. 7 представлены графики двух типов суммар-

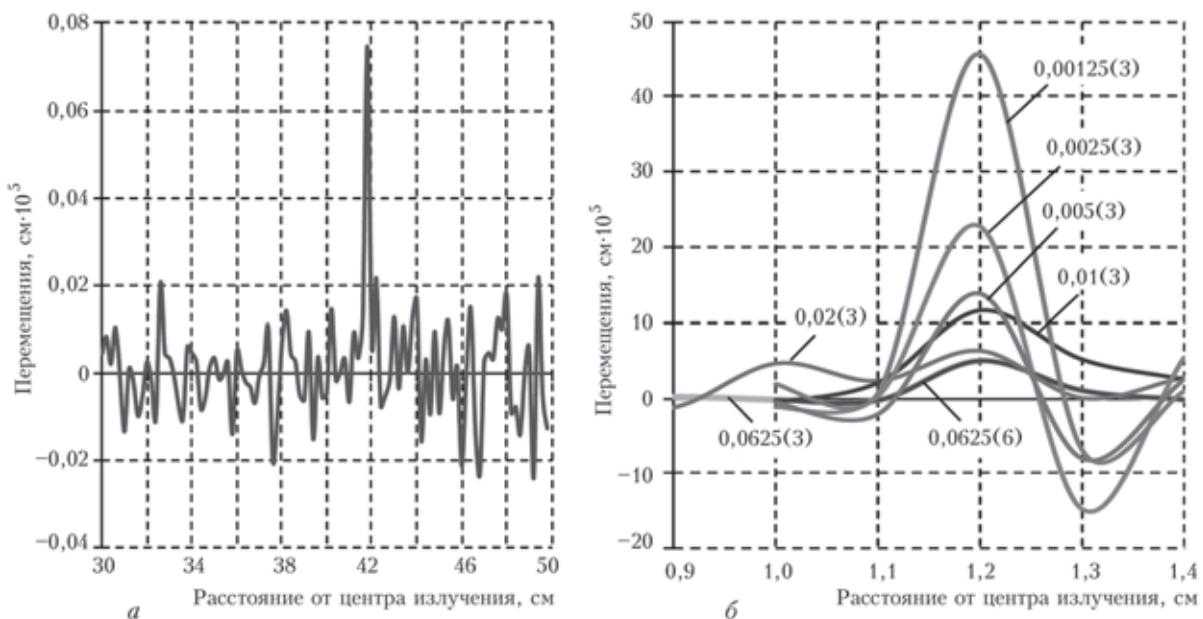


Рис. 6. Отфильтрованные с помощью программного обеспечения системы сигналы АЭ: а — сигналы в диапазоне 30...50 по радиусу; б — последовательное изменение амплитуды АЭ сигнала в узком по радиусу диапазоне распространения в зависимости от ограничения фильтром скорости его распространения (в скобках — предел фильтрации)

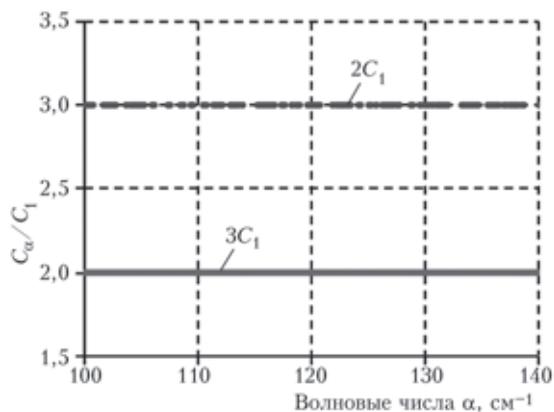


Рис. 7. Волны, распространяющиеся в стальной пластине толщиной 1 см, с постоянными скоростями, равными  $2C_1$  и  $3C_1$ ;  $\Delta\alpha = 0,1 \text{ см}^{-1}$

ных волн, распространяющихся с постоянными скоростями, в два и три раза превосходящими скорость  $C_1$ . При этом верхняя волна кусочно-непрерывна по  $\alpha$  и в связи с этим менее эффективна, чем нижняя сплошная. Результаты получены фильтрацией скоростей в пределах 1...3 с интервалом 1.

Следует отметить весьма сложный характер подынтегральной функции выражения (3). Численное интегрирование выражения с такой сложной подынтегральной функцией затруднено, несмотря на некоторые упрощения, связанные с конкретными значениями волновых чисел, полученных при решении спектрального уравнения (2). Расчеты показали, что для получения удовлетворительных результатов необходимо интегрировать выражение для  $w$  в пределах от 0 до  $2000 \text{ см}^{-1}$  по  $\alpha$  и более с пределом четырехкратного по отношению к скорости  $C_1$  изменением скоростей распространяющихся элементарных волн. На графиках рис. 4, а показаны волны АЭ в момент времени, составляющий 3,5 мкс от начала возникновения источника. Показана волна,двигающаяся с постоянной, не зависящей от волнового числа скоростью  $C_1 = 0,57 \text{ см/мкс}$ . Вторая волна, более мощная, опережает первую, двигаясь в момент времени 3,5 мкс со скоростью  $0,794 \text{ см/мкс}$ .

При дальнейшем распространении волны еще более изменяются. Переотражения от верхней и нижней поверхностей пластины приводят, как было сказано, к образованию пакетов,двигающихся со скоростями выше  $C_1$  и выше скорости основной волны. На рис. 4, б представлен момент времени, наступивший спустя 73,7 мкс после начала действия источника. На графике хорошо виден пакет волн в диапазоне расстояния от источника, равном 40...50 см. Как и ранее, общую картину волнового поля сопровождают фоновые волны, значения амплитуд которых колеблется в пределах  $\pm 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ .

## Выводы

Аналитически в рамках принятых допущений установлены волны, распространяющиеся в пластинах со скоростями выше скорости  $C_1$ .

Показан широкий (в бесконечных пределах по скоростям и волновым числам) спектр возникающих и распространяющихся в пластинах элементарных волн.

Суммарное действие элементарных волн вызывает перемещение поверхности пластины, состоящее из двух частей — суммарной волны,двигающейся с изменяющимся спектром и амплитудой, и фоном на всей поверхности пластины, сопровождающим суммарную волну. Фоновые волны создают определенные неудобства при локации сигналов АЭ и их расшифровке.

Количество элементарных волн в общем пакете уменьшается с увеличением скорости их движения. Уменьшение количества волн происходит за счет волн,двигающихся с высокими скоростями.

Показано, что с помощью фильтрации АЭ сигналов можно изменять их расчетные параметры, выбирая наиболее эффективные для работы измерительной аппаратуры и технологии контроля.

Аналитические исследования показали, что выборочной фильтрацией в определенном диапазоне скоростей можно формировать суммарную волну, распространяющуюся по поверхности пластины с заданной постоянной скоростью.

Подтверждено, что в пластинах в результате действия точечного источника излучения появляется и распространяется волна с независимой от волнового числа скоростью  $C_1$ . Получена аналитическая зависимость для расчета таких волн.

Показано, что если источник возбуждения находится на поверхности пластины ( $z_0 = 0$ ), то дополнительно появляется поверхностная волна Рэлея,двигающаяся со скоростью  $C_3 = 0,927C_2$ .

1. Андрейкив А. Е., Лысак Н. В. Метод акустической эмиссии в исследовании процессов разрушения. — Киев: Наук. думка, 1989. — 176 с.
2. Недосека А. Я. Влияние характера локальных изменений структуры материала на формирование упругих волн деформаций на поверхности толстой пластины // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1991. — № 3. — С. 66–73.
3. Недосека А. Я. О квантовании процесса возникновения и развития трещин // Там же. — 1989. — № 1. — С. 11–15.
4. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Индпром, 2008. — 815 с.
5. Недосека А. Я., Недосека С. А., Волошкевич И. Г. Волны деформаций, возникающие при локальной перестройке структуры материалов // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2004. — № 3. — С. 8–15.
6. Акустическая эмиссия и ресурс конструкций / Б. Е. Патон, Л. М. Лобанов, А. Я. Недосека и др. — Киев: Индпром, 2012. — 312 с.
7. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле. — М.: Наука, 1967. — 444 с.



8. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. — М.: Наука, 1979. — 560 с.
9. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования. — М.: Наука, 1971. — 288 с.
10. Рекач В. Г. Руководство к решению задач по теории упругости. — М.: Высш. шк., 1966. — 227 с.

The paper deals with cylindrical waves generated by the impact of a point excitation source, located in a plate at different depths, and propagating at the velocities higher than the longitudinal velocity of wave propagation in metal  $C_1$ . It is shown that the appearing elementary waves move individually or in groups at different velocities. These waves are characterized by practically unlimited set by wave numbers and velocities. Summary action of elementary waves causes displacements over plate surface, consisting of two parts - summary wave moving with changing spectrum and amplitude, and background over the entire plate surface, accompanying the summary wave. Number of elementary waves in the general packet decreases with increase of their movement velocity. Reduction of the number of waves occurs due to elimination of waves moving at high velocities. It is shown that application of filtering of acoustic emission signals allows changing their calculated parameters, selecting the most effective ones for operation of measuring equipment and monitoring technology. Selective filtering in a certain range of velocities allows forming the summary wave, propagating over the plate surface with the specified constant velocity. It was confirmed that a wave with velocity  $C_1$  independent on wave number appears and propagates in plates as a result of the action of point radiation source. An analytical dependence for calculation of such waves was derived. 10 References. 7 Figures.

*Keywords:* acoustic emission, displacement waves, velocities, wave numbers, spectrum, filtering

Поступила в редакцию  
11.10.2012

**НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ СИСТЕМ**

**EMA-4 - 100-% контроль и диагностика крупногабаритных изделий в процессе эксплуатации и испытаний без их разборки и предварительной подготовки**



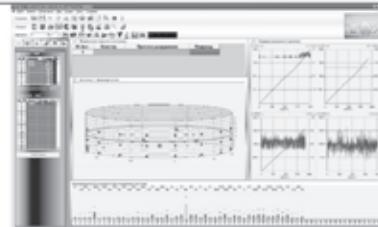
- новейшее специализированное оборудование для АЭ диагностики
- оценка уровня разрушающей нагрузки без разрушения конструкции
- регистрация формы импульса АЭ для частотного анализа и корреляции
- возможность минимизации расстояния между прибором и датчиками
- измерение, обработка, протокол – с помощью подключаемого ПК
- эффективная методика наращивания количества каналов АЭ
- аналоговые входы для измерения параметров нагрузки
- высокая надежность, низкое потребление энергии

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ**

Система АЭ	AED-404	AED-416	AED-432
Количество каналов АЭ	4	16	32
Измерение всех стандартных параметров АЭ	есть	есть	есть
Программируемый цифровой фильтр на входе каналов АЭ	30-1000 кГц	30-1000 кГц	30-1000 кГц
Сохранение полной формы импульса по всем каналам АЭ	8 мс	8 мс	8 мс
Частотный анализ импульса АЭ	есть	есть	есть
Корреляция между сигналами АЭ	есть	есть	есть
Интерфейс с управляющим компьютером	USB, Ethernet	USB, Ethernet, радио	
Питание	12 В / 0,25 А	12 В / 1,0 А	12 В / 2,0 А
Возможность питания через интерфейс	USB	Ethernet	
Размеры [мм]	119×113×35	126×213×77	380×270×167
Вес	0,35 кг	1,3 кг	7,0 кг

**НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ:**

- Компьютерные интерфейсы USB, Ethernet, радио
- Синхронизация приборов сигналами GPS
- Цифровые полосовые фильтры
- Детектирование разрыва и короткого замыкания в цепи внешнего предварительного усилителя
- Автоматическая установка фиксированных / плавающих порогов
- Режим осциллографа по всем каналам АЭ
- Упорядочение импульсов, принятых разными каналами, по времени их начала



**МНОГОУРОВНЕВОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины

E-mail: office@paton.kiev.ua