

1. Гинзбург В. Л. Об общей связи между поглощением и дисперсией звуковых волн // Акуст. журн. 1955. Т. 1. № 1. С. 31–39.
2. Островский Л. А. Дисперсионное сжатие ЧМ-волн в однородной плазме // Изв. вузов. Радиофизика. 1969. Т. 12. С. 1333–1338.
3. Бутковский О. Я., Заболотская Е. А., Кравцов Ю. А., Рябыкин В. В. Экспериментальное наблюдение вынужденного комбинационного рассеяния на газовых пузырьках в воде // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 1. С. 163–164.

Институт общей физики  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
8.1.1987

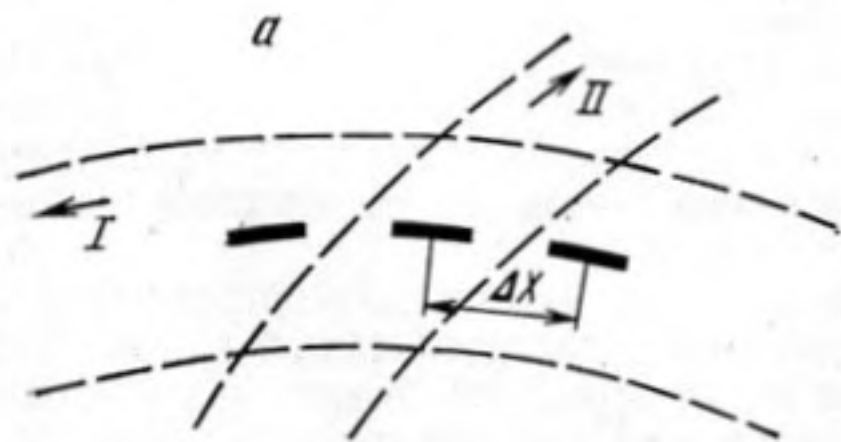
УДК 534.6:535.39

## ТОМОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ БЫСТРОГО СКАНИРОВАНИЯ

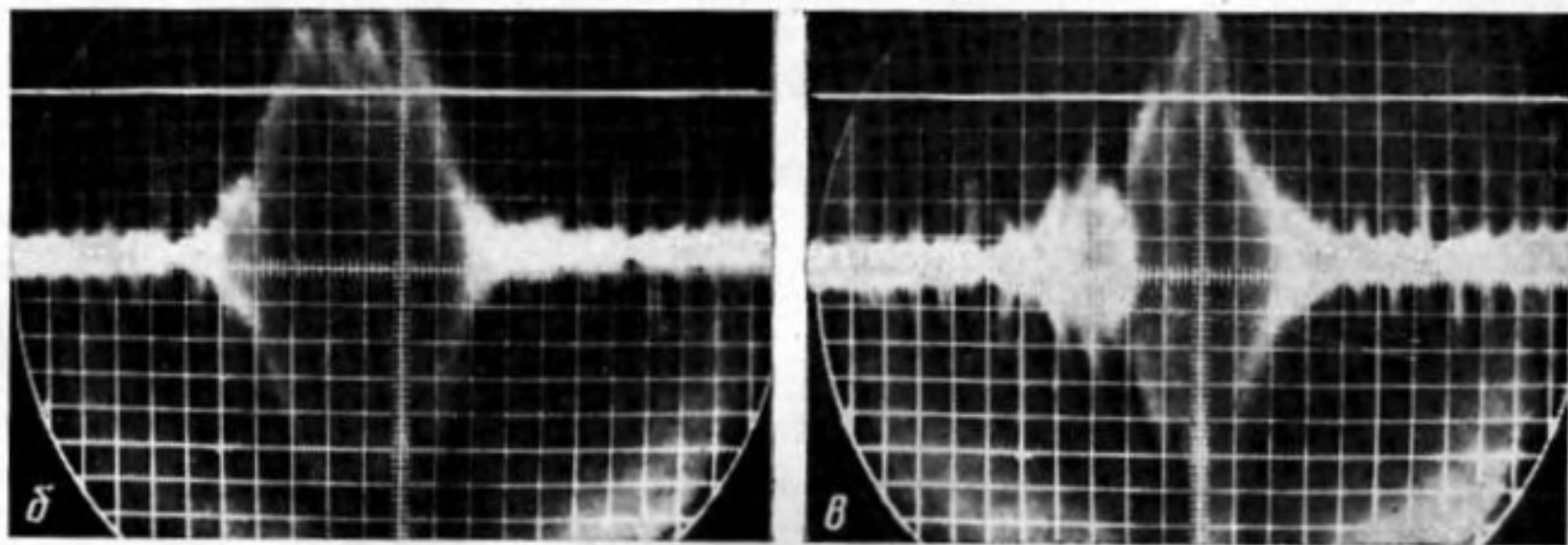
Гинзбург В. М., Николаев В. Я., Сухов В. И.

В [1, 2] описана система формирования изображений с быстрым сканированием луча за время излучения и приема сигналов, предложенная в 50-х годах [3, 4]. С помощью этой системы можно получать информацию о движущихся объектах, пересекающих периодическую пространственную структуру из дискретных слоев видимости (СВ) или, в современной терминологии, из семейства томограмм, ориентацией которых в пространстве и периодом повторения можно управлять изменяя закон качания луча. При этом обеспечивается постоянство линейной разрешающей способности в зоне обзора, определяемой длительностью отраженных сигналов и расположением объектов в СВ.

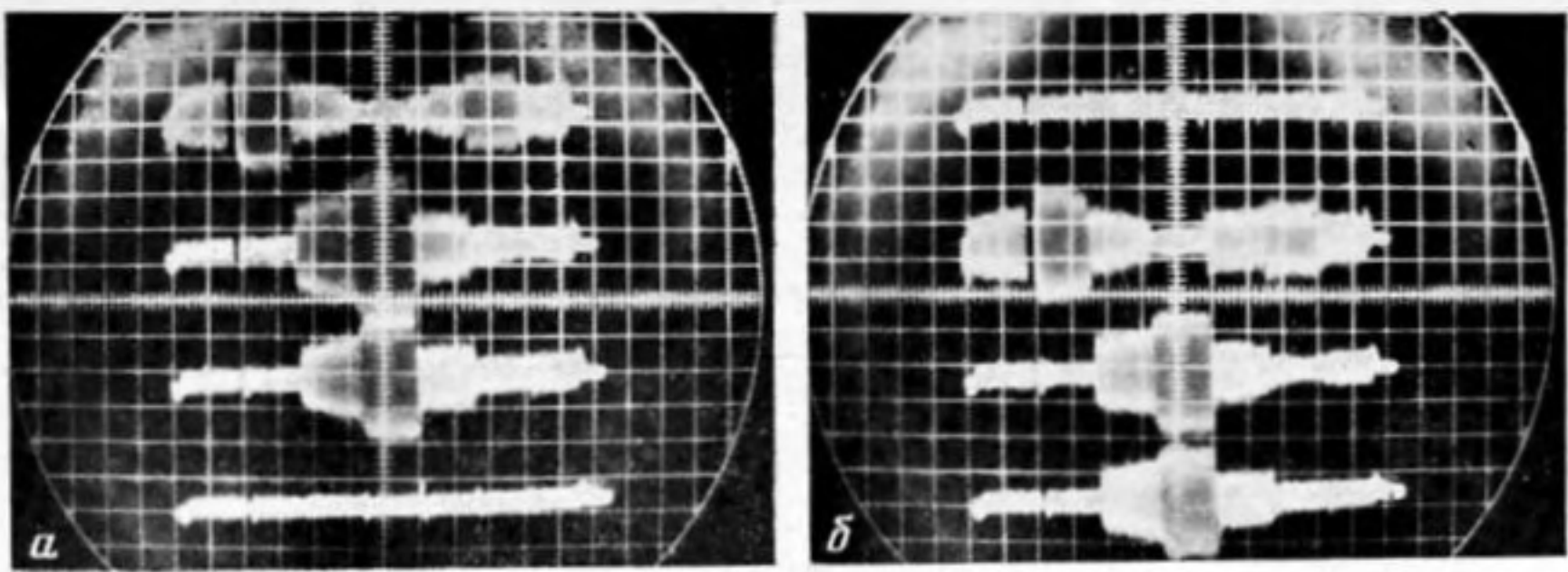
Был изготовлен лабораторный макет такого томографа, работающего в ультразвуковом диапазоне (на частоте 115 кГц) в двух режимах: А — излучение и прием



Фиг. 1. Иллюстрация работы УЗВ томографа. *a* — форма слоев видимости (СВ) в режимах А (I) и Б (II). Отмечен уровень, соответствующий спаду звукового давления на 3 дБ.  $\Delta x$  — расстояние между соседними объектами; *b*, *в* — осциллограммы сигналов, отраженных от объектов в режиме А и Б соответственно



производится с помощью одной антенной системы, состоящей из неподвижных излучателей и приемников и механически вращающегося плоского зеркала; Б — излучение производится той же антенной, а прием — фазированной антенной решеткой (ФАР) с дискретным электронным сканированием. Глубина сцены в безэховой воздушной камере  $r_{\max} = 2$  м. Угол сканирования  $10^\circ < \Theta < 30^\circ$ . В режиме А в пространстве образуются концентрические СВ (I на фиг. 1, *a*) с центром в центре вращения зеркала. В режиме Б при совпадении направлений и скоростей качания лучей обеих антенн образуются эллиптические СВ с фокусами в центрах вращения лучей. При качании луча ФАР, в противоположном направлении образуются «косые» слои (II на фиг. 1, *a*). Толщина СВ (вдоль  $r$ ) равна  $\delta r = c\tau_r/2$ .  $\theta_0/\Theta$  и период повторения  $\Delta r = c\tau_t/2$ , где  $\tau_t$  — длительность импульса генератора и период качания луча при излучении,  $\tau_r$  — период качания при приеме,  $c$  — скорость звука в воздухе,  $\theta_0$  — ши-



Фиг. 2. Два кадра, имитирующие движение крупного объекта через систему СВ

рина лучей приемной и передающей антенн. Величина  $\delta r$  в режиме А фиксирована, а в режиме Б может регулироваться одновременно с наклоном СВ изменением  $\tau_r$ . Эксперименты проводились в зоне Фраунгофера. В качестве объектов использовались зеркала размером  $\sim 15 \lambda$ . На фиг. 2, а, б приведены два кадра, имитирующие движение крупного объекта через систему СВ, полученных в режиме Б, при одновременном движении лучей. На фиг. 1, б показана осциллограмма сигнала, отраженного от трех объектов, при однонаправленном движении лучей (в слое I) и расстояниях  $\Delta x$  между объектами в 2 раза меньшем, чем требуется по Рэлею. При противоположных направлениях движения лучей (слой II) принимаются сигналы (на уровне 3 дБ) только от среднего объекта (фиг. 1, в). Аналогичное увеличение разрешающей способности наблюдается при «косом» (по  $r$ ) расположении объектов в слое I.

В заключение следует отметить, что в предложенной системе обзора пространства нарушается основной принцип традиционной локации — необходимость ожидания отраженных сигналов. При сканировании луча антенны за время излучения энергия «размазывается» в секторе обзора, а при приеме в пространстве образуются «пустоты» между слоями видимости. В этой связи возникает вопрос: не делает ли потеря непринятой энергии такую систему невыгодной по сравнению с традиционными радаром и сонарами, «ждущими» и принимающими отраженные сигналы с любой дальности? Такое же сомнение было высказано относительно гипотезы о возможности существования подобного механизма у дельфинов, в их акустическом локаторе [5, 6]. Для ответа на этот вопрос были проведены теоретические исследования помехоустойчивости и энергетических характеристик предложенной системы, результаты которых приведены в работе [7]. Показано, что система с качанием луча за время импульса может быть адаптивной с изменяющимися параметрами: расположением и формой СВ в пространстве в зависимости от обстановки в зоне обзора (количества и размеров объектов, распределения их по дальности, положения источников «шумов», состояния среды и т. д.). Это позволяет существенно уменьшить энергию излучения за счет рационального распределения ее в пространстве. На численном примере локатора с изовысотным обзором показано, что в такой системе не только нет потери энергии, но наоборот, вследствие возможности управления законом качания луча и формой импульса передатчика, можно значительно уменьшить требуемую энергию по сравнению с традиционной локационной системой, содержащей антенну с косекансной диаграммой направленности.

Выигрыш энергии по сравнению с традиционным локатором объясняется возможностью адаптации такой системы к обстановке (в реальном времени). Следовательно, такой метод обзора позволяет создавать оптимальные системы с точки зрения энергетической стоимости полученной информации. В традиционных системах для получения такой же информации (за то же время и с той же разрешающей способностью) необходимо затрачивать намного больше энергии, так как для этого требуется использование большого числа одновременно работающих локаторов, рассчитанных на прием сигналов с максимальной дальности, либо громоздких энергоемких сооружений типа активных фазированных решеток, рассчитанных также на прием сигналов с максимальной дальности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ginzburg V. M. 3-D Image Formation by Transformation of Time Signals into Spatial Structures // Opt. Commun. 1982. V. 42. № 5. P. 298–300.
2. Гинзбург В. М. Формирование трехмерных изображений в СВЧ- и УЗВ-диапазонах при помощи антенн с качанием луча за время импульса // РЭ. 1982. Т. 27. № 9. С. 1699–1705.
3. Гинзбург В. М., Петров К. А. Способ обзора пространства радиолокационной станции: А. с. 596061 СССР // 15.09.1950 — Оpubл. в Б. И. 1982. № 32.
4. Гинзбург В. М. Антенное устройство радиолокационной станции: // 23.04.1958. А. с. 596062 СССР — Оpubл. в Б. И. 1982. № 32.
5. Белькович В. М., Резников А. Е. Новое в гидролокации дельфинов Природа. 1971. № 11. С. 84–90.

6. Сергеев Б. Ф. Живые локаторы океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 160 с.

7. Гинзбург В. М. Формирование и обработка изображений в реальном времени. Методы быстрого сканирования. М.: Радио и связь, 1986. 232 с.

Всесоюзный научно-исследовательский  
институт оптико-физических измерений

Поступило в редакцию  
18.VI.1986

УДК 534.001.24:536-36

## РАСЧЕТ СКОРОСТИ ЗВУКА В СМЕШАННЫХ РАСТВОРАХ, СОДЕРЖАЩИХ НЕСКОЛЬКО РАСТВОРЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ, ПО ДАННЫМ О БИНАРНЫХ РАСТВОРАХ

Денисов Д. А.

При расчете скорости ультразвука в смешанных растворах, т. е. содержащих несколько растворенных компонентов,  $a_{см}$  по данным о скорости звука в бинарных растворах, т. е. содержащих лишь один растворенный компонент, в случае, когда растворенные компоненты-электролиты чаще всего используют правило ионной силы, например [1, 2]. Отклонение найденного таким образом значения от экспериментального  $a_{см}^{эксп}$  рассматривается как мера изменения взаимодействия ионов при переходе из бинарного в смешанный раствор, в частности, как мера ассоциации ионов [2]. Однако, как отмечалось в [3], правило ионной силы справедливо лишь для разбавленных растворов электролитов и использование его при расчете свойств растворов с концентрациями  $c > 0,5 \cdot 10^3$  моль  $\cdot$  м $^{-3}$  неоправдано.

Иная возможность расчета свойств смешанных растворов с нелетучими растворенными компонентами по данным о свойствах бинарных растворов следует из модели идеальных изоэстических, т. е. имеющих одно и то же значение химического потенциала растворителя  $\mu_w$  растворов [3]. Такая модель не исключает взаимодействия между растворенными компонентами и растворителем и позволяет рассматривать растворенные компоненты смешанного раствора как идеальную смесь растворенных компонентов бинарных растворов с тем же значением  $\mu_w$ , которое имеет смешанный раствор [4, 5].

Реальный смешанный раствор описывается такой моделью в том и только в том случае, если в некоторой области температур  $T$  и давлений  $P$  молярности смешанного  $m_i$  и бинарных  $m_i^*$  изоэстических растворов связаны соотношением [4-6].

$$\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m_i^*} = 1, \quad (1)$$

где  $n$  — число растворенных компонентов, называемому правилом Здановского [4]. Из (1) следуют выражения для объема  $V_{см}$  и плотности  $\rho_{см}$  смешанного раствора [4, 7]:

$$V_{см} = V_1^* + V_2^* + \dots + V_n^*, \quad (2)$$

$$\rho_{см} = [1 + 10^{-3}(m_1 M_1 + \dots + m_n M_n)] \{m_1 (m_1^{*-1} + 10^{-3} M_1) \rho_1^{*-1} + \dots + m_n (m_n^{*-1} + 10^{-3} M_n) \rho_n^{*-1}\}^{-1}, \quad (3)$$

где  $M_i$  — масса моля  $i$ -го растворенного компонента,  $V_i^*$ ,  $\rho_i^*$  — объем и плотность изоэстического бинарного раствора  $i$ -го компонента. Из (1) следует также формула, связывающая значения теплоемкостей смешанного  $C_{рсм}$  и бинарных  $c_{pi}^*$  изоэстических растворов, отнесенных к единице массы растворителя [4, 5]

$$C_{рсм} = m_1 m_1^{*-1} C_{p1}^* + \dots + m_n m_n^{*-1} C_{pn}^*. \quad (4)$$

Дифференцируя (2) по  $P$  при  $T = \text{const}$ , следуя преобразованиям [8], найдем связь между изотермическими коэффициентами сжимаемости смешанного  $\beta_{Tсм}$  и бинарных  $\beta_{Ti}^*$  изоэстических растворов

$$\beta_{Tсм} = (V_1^* \beta_{T1}^* + \dots + V_n^* \beta_{Tn}^*) V_{см}^{-1}. \quad (5)$$

Дифференцируя (2) по  $T$  при  $P = \text{const}$ , получим аналогичную формулу для изобарных коэффициентов расширения  $\alpha_{см}$  и  $\alpha_i^*$ , приведенную без вывода в [6]. Выражая  $V_{см}$  и  $V_i^*$  через массы растворителя в смешанном  $Q_{см}$  и бинарном  $Q_i^*$  растворах,