



## СОДЕРЖАНИЕ

### Статьи

<i>Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А.</i> Мобильные подводные роботы в современной океанографии и гидрофизике.....	4
<i>Шейнман Е.Л.</i> Критерии и алгоритмы оценки эффективности комплексирования информации в многоканальной информационной системе.....	14
* <i>Трусова О.И.</i> Программно-методический комплекс анализа данных при проведении испытаний стационарных гидроакустических систем.....	25
* <i>Семенов Н.Н.</i> Обнаружение сложного искусственного объекта, лежащего на грунте.....	36
* <i>Шолохов А.С.</i> Многоканальное цифровое устройство для имитации углового положения объектов в комплексах полунатурного моделирования гидроакустических сигналов.....	44
* <i>Дерновский В.Л.</i> Моделирование влияния вибраций на формирование изображения в теневых приборах с учётом конечных размеров источника света.....	50
* <i>Васильев А.Д., Терешкин А.А.</i> Экспериментальное исследование волнового гравитационного течения в канале.....	59

### Рецензии на книги

Малышкин Г.С. Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов. Том 1. ....	64
---	----

### Из истории науки

115 лет со дня рождения академика В.В.Шулейкина.....	65
100 лет диссертации Д.И.Менделеева «О соединении спирта с водой».....	69
<b>Поздравляем</b> .....	72
<b>Внимание, конкурс!</b> .....	77
Правила представления материалов в редакцию.....	80

\* Доклады прочитаны на Первой конференции молодых ученых и специалистов «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (МАГ-2009).

# CONTENTS

## Articles

<i>Gizitdinova M.R., Kuzmitsky M.A.</i> Mobile Underwater Robots in Modern Oceanography and Hydrophysics .....	4
--	---

In article the current state and prospects of development of system of the problems solved within the limits of hydrophysical researches of the World ocean, and system of means with which help these problems can be solved is analyzed. Modern position with oceanographic researches in the Russian Federation, the place and the role of mobile underwater robots (or UUVs) in their further development is considered. Dual character of missions which can effectively carry out UUVs in solving civil problems (research and commercial) and military-oriented problems is underlined. Advantages of use of independent networks of oceanographic measurements on the basis of UUVs are estimated. The spectrum functionally focused UUVs for achieving the primary goals of underwater researches is resulted.

**Key words:** the mobile underwater robot, hydrophysical researches, oceanography, independent networks.

<i>Sheinman E.L.</i> Criteria and Algorithms of the Efficiency Estimation of the Information Integration in Multichannel Information Processing System.....	14
---	----

The problem of the efficiency estimation of the information integration in multichannel information processing system is considered. The concept of a complex task of object detection (detection - classification - determination of position) for multichannel information processing system is determined, taking into account identification of signals, which have been detected in various information channels. Probabilistic criteria and analytical algorithms of the efficiency estimation of the complex task of object detection in multichannel information system are developed.

**Key words:** information integration efficiency, multichannel information processing system, efficiency criteria, identification of signals.

<i>Trusova O.I.</i> Program-methodical Data Analysis Complex in Tested Stationary Sonar Systems.....	25
--	----

The report considers a program-methodical analysis complex of data obtained in tests of stationary hydroacoustic systems. We consider a method for analyzing the characteristics of sonar signals, methods of analyzing the characteristics of reverberation and mode structure of the acoustic waveguide. Results of the analysis of experimental data of the high-frequency active sonar, held in shallow sea, are described.

**Key words:** sonar signals, reverberation, mode structure of waveguide, active sonar, methods of analyzing the characteristics, experimental data.

<i>Semenov N.N.</i> Detection of complex artificial object lying on the ground .....	36
--	----

Results of numerical modeling of a small-sized sonar are resulted at detection and estimation of parameters of the complicated artificial object lying at the bottom.

**Key words:** sonar, echosignal, bottom reflection, beam spread, interference.

<i>Sholokhov A.S.</i> Multichannel digital device for imitation of angular position of objects in complexes of half-scale modelling of hydroacoustic signals.....	44
---	----

Principles of construction of multichannel digital device are considered, allowing to model angular position of object of hydrolocation with use of electric channel of reception path of the test system. Device allows to expand opportunities of complexes of half-scale simulation, including multichannel electronic simulator of hydroacoustic signals, acoustical array and hydropool.

**Key words:** modelling, seminatural, the simulator, the shaper, time shift.

<i>Dernovsky V.L.</i> Simulation of vibration influence on image forming in schlieren visualizer of marine density inhomogeneities subject to finite size of light source.....	50
--	----

Simulation of image forming in autocollimating schlieren visualizer of marine density inhomogeneities, subject to vibration of hydrophysics apparatus carrier, is completed. Method of illumination field computing is brought. Illumination field is computed on the surface of the photodetector array, subject to inhomogeneities absence in viewing volume, for either coherent or incoherent light source.

**Key words:** schlieren device, simulation, vibration, image forming, finite size of light source.

<i>Vasiliev A.D., Tereshkin A.A.</i> Experimental research of the gravitational wave channel flow.....	59
--	----

This paper describes a research of wave and turbulent processes in the channel to the sudden destruction of bridges, which separates the initial time two liquids of different densities in the channel are made in the laboratory Department of fluid mechanics and marine acoustics of St. Petersburg State Marine Technical University. Processes taking place in the channel were recorded on a digital camera. The resulting video was divided into frames and the most interesting moments were represented. Evaluation of wave propagation velocity, the Reynolds number and Froude number was produced.

**Key words:** internal waves, stable and unstable stratification, visualization of the wave motion, the Boussinesq approximation.

УДК 535.327.3:681.785

© В.Л.Дерновский<sup>1</sup>  
dslav@bk.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ТЕНЕВЫХ ПРИБОРАХ С УЧЁТОМ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ ИСТОЧНИКА СВЕТА

Выполнено моделирование формирования изображения в теневых визуализаторах плотностных неоднородностей морской среды автоколлимационного типа в условиях вибрации носителя гидрофизической аппаратуры. Приведён метод расчёта поля освещённости на поверхности фотоприёмника, в отсутствие неоднородностей в просмотровом объёме, для когерентного и некогерентного источников света.

Ключевые слова: теневой прибор, моделирование, вибрация, формирование изображения, конечные размеры источника света.

Эффективное освоение Мирового океана возможно только при условии точного знания его гидрофизических полей. Структура мелкомасштабных плотностных неоднородностей морской среды существенно влияет на характер физических, химических и биологических процессов; она может быть визуализирована с помощью теневых приборов, чувствительных к пространственной конфигурации поля градиента показателя преломления [1]. Теневые приборы позволяют регистрировать мелкомасштабные пульсации в области, недоступной в настоящее время для преобразователей других, неоптических, гидрофизических полей морской среды. Систематический контроль гидрофизического состояния акватории [2] может выполняться с подвижного носителя аппаратуры. Особую важность приобретает гидрофизическое обеспечение работ на шельфе, так как вероятность различных аномалий гидрофизических полей в прибрежных районах и окраинных морях значительно выше, чем в открытых районах океана [3]. Однако выходной сигнал теневого визуализатора плотностных неоднородностей морской среды подвержен влиянию вибраций прибора, что создаёт дополнительные помехи и может препятствовать эффективной индикации турбулентных возмущений морской среды. Влияние вибраций на работу теневого визуализатора неоднократно отмечено в литературе [1, 4]. Основные положения принятой в данной работе физико-математической модели влияния вибраций на формирование изображения в теневых визуализаторах плотностных неоднородностей морской среды изложены в работах [5–7].

Цель данной работы - моделирование влияния вибраций на формирование изображения в теневых визуализаторах плотностных неоднородностей с учётом конечных размеров источника света.

**Физические основы моделирования.** В работе рассмотрена классическая оптическая схема теневого визуализатора плотностных неоднородностей морской среды автоколлимационного типа [1]. Согласно принятой модели заменим эту схему эквивалентной, представленной на рис. 1.

<sup>1</sup> ЗАО «Гранит-7», Санкт-Петербург

Основное отличие эквивалентной схемы от классической автоколлимационной заключается в её однопроходности вследствие замены реального источника света и автоколлимационного зеркала источником света И и линзой Л1, являющейся мнимым изображением головного объектива в автоколлимационном зеркале. Рассматривается случай, когда нож находится в фокальной плоскости головного объектива и перекрывает нижнюю полуплоскость, а кромка ножа расположена строго в фокусе головного объектива.

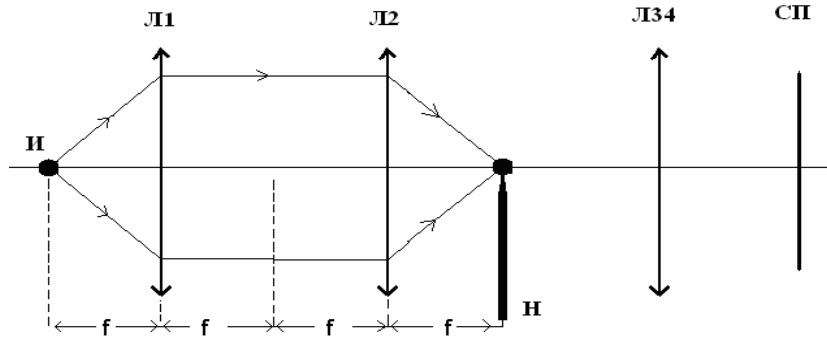


Рис. 1. Эквивалентная оптическая схема теневого визуализатора автоколлимационного типа.

На рис. 1 введены следующие обозначения:  $f$  – фокусное расстояние головного объектива (линз Л1 и Л2), Н – нож, Л34 – система линз, сопрягающая плоскость наблюдения в просмотровом объёме с плоскостью фотоприёмника СП.

Проанализируем одну из возможных причин возникновения вибрационной помехи в теновом визуализаторе автоколлимационного типа – изменение наклона автоколлимационного зеркала, приводящее к отклонению нормали к поверхности зеркала от оптической оси системы. В этом случае начальные каскады эквивалентной оптической схемы теневого визуализатора, соответствующие участку от источника света до ножа, принимают вид, представленный на рис. 2, а и 2, б, которые соответствуют различным направлениям отклонения автоколлимационного зеркала от невозмущённого вибрацией положения.

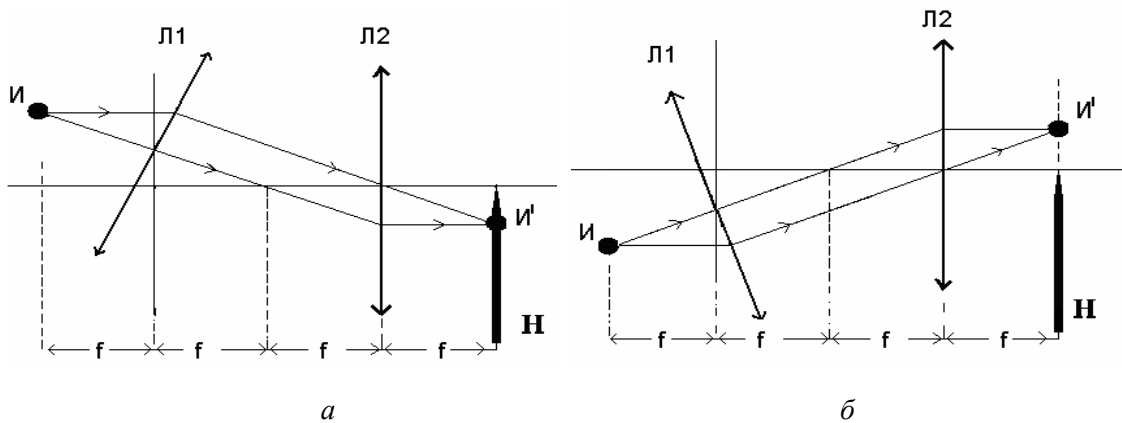


Рис. 2. Начальные каскады эквивалентной оптической схемы теневого визуализатора в случае изменения наклона автоколлимационного зеркала.

Из рисунков видно, что в зависимости от направления смещения источника света изображение источника «уходит» либо в перекрытую, либо в непокрытую ножом область. Кроме этого, изменяется направление оси конуса лучей, образующих изображение. Таким образом, в случае крутильных колебаний автоколлимационного зеркала происходит смещение дифракционного изображения источника относительно кромки ножа, приводящее к изменению распределения комплексной амплитуды световой вол-

ны в плоскости ножа, что является причиной возникновения вибрационной помехи, искажающей поле освещённости на поверхности фотоприёмника [5].

Обозначения систем координат, используемых при моделировании, представлены на рис. 3.

При моделировании теневого прибора с элементарным точечным источником света аналитически была получена формула, описывающая распределение комплексной амплитуды в плоскости фотоприёмника в отсутствии неоднородностей в просмотровом объёме [6], а также описывающая влияние на формирование изображения смещения точечного источника света только вдоль оси  $\eta$ :

$$U_2(x_2, y_2) = \int_{\omega_y=0}^{+\infty} \int_{\omega_x=-\infty}^{+\infty} 2\pi R \frac{J_1 \left( \sqrt{\omega_x^2 + (\omega_y - \omega_{y_0})^2} R \right)}{\sqrt{\omega_x^2 + (\omega_y - \omega_{y_0})^2} R} e^{ix_2\omega_x} e^{iy_2\omega_y} d\omega_x d\omega_y, \quad (1)$$

где  $J_1$  – функция Бесселя первого порядка.

Величина смещения центра дифракционного изображения источника света в плоскости частот (в плоскости ножа), обусловленного смещением источника света, определяется как:

$$\omega_{y_0} = -\frac{k}{f} \eta_0, \quad (2)$$

где  $\eta_0$  - смещение точечного источника по оси  $\eta$  в плоскости  $U_0$ .

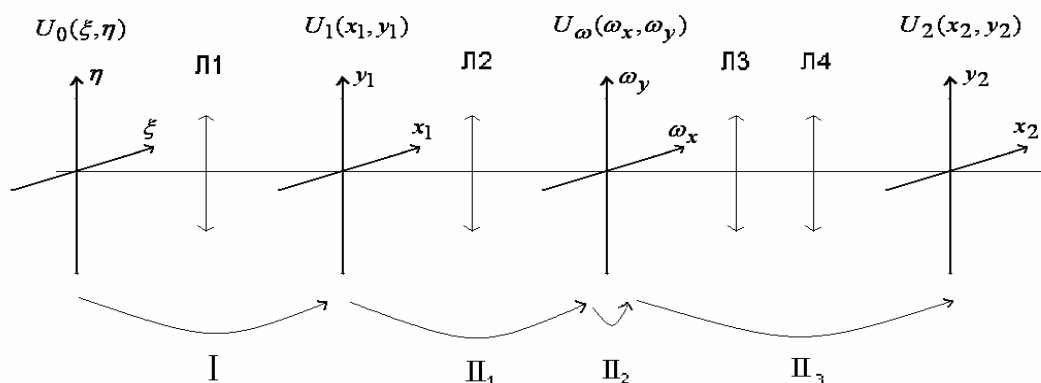


Рис. 3. Системы координат, используемые при расчётах.

Более общие задачи моделирования требуют более подробного анализа свойств оптической системы с точечным источником света. Далее приведены рассуждения, основанные на материалах [7].

Обобщение формулы (1) на случай произвольного смещения точечного источника в плоскости  $U_0$  приобретает вид:

$$U_2(x_2, y_2) = e^{\frac{-ik}{f}(x_2\xi_0 + y_2\eta_0)} \int_{\frac{k}{f}\eta_0}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} 2\pi R \frac{J_1 \left( \sqrt{\omega_x'^2 + \omega_y'^2} R \right)}{\sqrt{\omega_x'^2 + \omega_y'^2} R} e^{ix_2\omega_x'} e^{iy_2\omega_y'} d\omega_x' d\omega_y', \quad (3)$$

$$\text{где } \omega'_x = \omega_x + \frac{k}{f} \xi_0; \omega'_y = \omega_y + \frac{k}{f} \eta_0. \quad (4)$$

В формулах (3) и (4)  $\xi_0$  – смещение точечного источника по оси  $\xi$  в плоскости  $U_0$ . Формула (4) поясняет проведённую замену переменной интегрирования.

Важной особенностью зависимостей (1) и (3) является то, что в них учитываются конечные размеры поперечного сечения светового пучка.

В выражении (3) зависимость распределения комплексной амплитуды в плоскости фотоприёмника от смещения точечного источника вдоль координаты  $\xi$  присутствует только в фазовом множителе, вынесенном перед знаком интеграла. Физический смысл такой зависимости заключается в том, что смещения точечного источника света вдоль оси  $\xi$  приводят только к изменению угла падения параллельного пучка лучей на плоскость  $U_1$ , что и проявляется как линейный фазовый сдвиг. Освещённость вычисляется как квадрат модуля комплексной амплитуды; следовательно, фазовый множитель не оказывает влияния на распределение освещённости на поверхности фотоприёмника. Поэтому в рамках принятой физико-математической модели колебания источника вдоль оси  $\xi$ , т.е. параллельно кромке ножа, не приводят к изменению освещённости на поверхности фотоприёмника, но приводят к флуктуациям поля комплексной амплитуды.

Учёт конечных размеров источника света важен с точки зрения моделирования изображения на выходе реального теневого визуализатора. Теневые визуализаторы могут конструироваться с использованием как когерентного, так и некогерентного источников света. В обоих случаях источник света можно представить как совокупность конечного числа элементарных точечных источников. Результирующее изображение в случае некогерентного двухмерного источника можно получить как суммарную интенсивность всех точечных источников света, а в случае когерентного источника – как квадрат модуля суммы комплексных амплитуд всех элементарных источников.

Учитывая, что малое смещение точечного источника вдоль оси, параллельной кромке ножа, не оказывает влияния на распределение освещённости в плоскости фотоприёмника, достаточно рассмотреть только его проекцию на ось  $\eta$ , перпендикулярную кромке ножа. Источник света конечных размеров состоит из множества точечных источников, следовательно, для анализа распределения поля комплексной амплитуды и освещённости в плоскости фотоприёмника достаточно рассмотреть множество проекций этих источников на ось  $\eta$ . Таким образом, для теневого прибора с ножом, полностью перекрывающим полуплоскость, задачу с двухмерным источником света можно свести к задаче с одномерным источником.

Вычисление поля комплексной амплитуды в плоскости фотоприёмника производится по формуле (3). Значение комплексной амплитуды вычисляется последовательно в каждом пикселе матрицы фотоприёмника. Способ вычисления картины освещённости в плоскости фотоприёмника для источника света конечных размеров зависит от типа источника.

Предположим, что установлен источник когерентного излучения. Тогда источник света конечных размеров можно представить как совокупность точечных когерентных источников. Для множества когерентных точечных источников поле комплексной амплитуды в плоскости фотоприёмника вычисляется как сумма полей комплексных амплитуд всех точечных источников. Освещённость в плоскости фотоприёмника вычисляется как квадрат модуля суммарной комплексной амплитуды.

Если установлен источник некогерентного излучения, тогда расчёт освещённости в плоскости фотоприёмника производится следующим образом. Вычисляются поля комплексной амплитуды и освещённости в плоскости фотоприёмника, создаваемые

каждым точечным источником, образующим источник света конечных размеров. Поле освещённости в плоскости фотоприёмника определяется как сумма освещённостей всех элементарных точечных источников.

Таким образом, можно моделировать два типа приборов одновременно: теневые визуализаторы плотностных неоднородностей с когерентным источником света и теневые визуализаторы плотностных неоднородностей с некогерентным источником света.

**Моделирование.** Выражение (3) получено аналитически поэтапным преобразованием поля комплексной амплитуды на элементах оптической системы. Используя (3), поле комплексной амплитуды в плоскости фотоприёмника для элементарного точечного источника можно получить с помощью численного интегрирования.

Как было показано выше, двухмерный источник света в рассматриваемой схеме можно заменить одномерным. Одномерный источник, в свою очередь, можно представить как совокупность элементарных точечных источников.

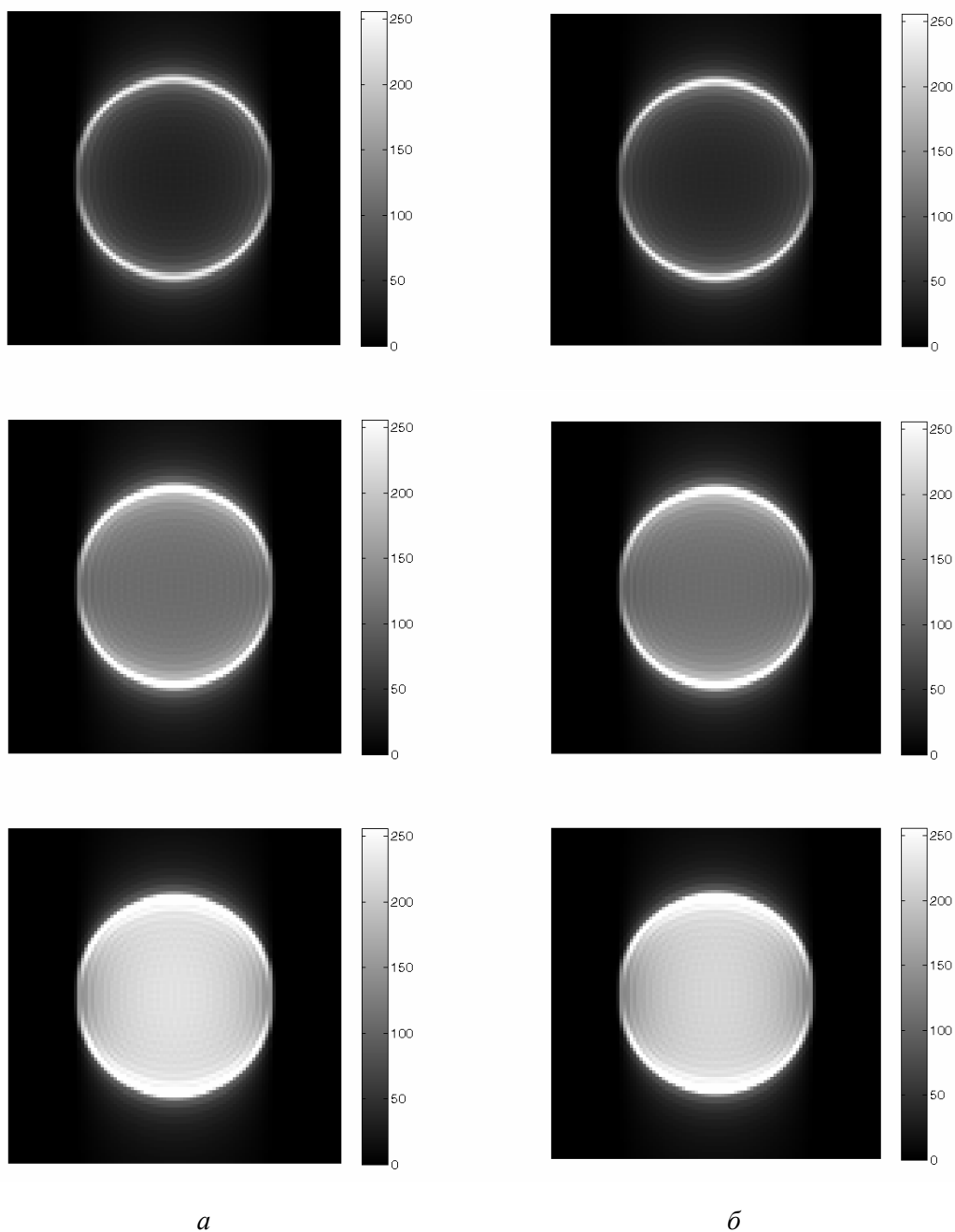
Двухмерный источник света, установленный в теневом визуализаторе, имеет размеры 3 мкм в высоту (перпендикулярно кромке ножа) и 20 мкм в ширину (параллельно кромке ножа). Эквивалентным ему (в условиях предложенной модели) будет одномерный источник в виде отрезка длиной 3 мкм с центром в начале координат и лежащий на оси  $\eta$ . Заменяем этот источник семью элементарными точечными источниками, расположенными через 0,5 мкм. Рассматривая далее смещение одномерного источника света в эквивалентной оптической схеме и соответствующее ему отклонение линзы Л1, будем говорить только о смещении центра одномерного источника ( $\eta_1$ ) относительно оптической оси вдоль координатной оси  $\eta$ .

Выполнено моделирование влияния вибраций на формирование изображений в оптической схеме со следующими параметрами: фокусное расстояние линз Л1, Л2  $f = 30$  см, радиус линз  $R = 3$  см, длина волны света  $\lambda = 6 \cdot 10^{-5}$  см. Кромка ножа ориентирована горизонтально, нож полностью перекрывает нижнюю полуплоскость (т.е. III и IV квадранты).

Расчёт произведён для семи положений центра одномерного источника  $\eta_1$ : от -1.5 мкм до 1.5 мкм с шагом 0.5 мкм, т.е. рассчитаны смещения источника в противоположных направлениях на одинаковую величину. Для каждого положения источника вычислено поле комплексной амплитуды в плоскости фотоприёмника для всех элементарных точечных источников, составляющих одномерный источник света. Зная распределение комплексной амплитуды света в плоскости фотоприёмника, можно рассчитать освещённость как квадрат модуля комплексной амплитуды в каждом пикселе матрицы. Размер матрицы фотоприёмника принимался равным  $100 \times 100$  точек. При численном интегрировании в плоскости пространственных частот точки брались с частотой 1.6 точки на микрометр. Полученные изображения приводятся нормированными как для одномерного когерентного, так и для некогерентного источника света. Максимальным значением яркости, регистрируемым матрицей фотоприёмника, считалось максимальное значение яркости на изображении, которое соответствовало максимальному отклонению вверх источника света в эквивалентной схеме теневого прибора. Наборы изображений, соответствующие различным источникам света, нормировались независимо. Настройка реального прибора для регистрации плотностных неоднородностей в натуральных условиях может быть различной. Предложенное представление результатов моделирования лучше отражает характер влияния вибраций автоколлимационного зеркала теневого прибора на формируемое изображение.

На рис. 4 приведены результаты моделирования изображения, формируемого теневым визуализатором с когерентным и некогерентным источниками, последовательно соответствующие значениям  $\eta_1 = 1.5, 0, -1.5$  мкм. Согласно принятой нормировке изображения приведены в 256 градациях серого.

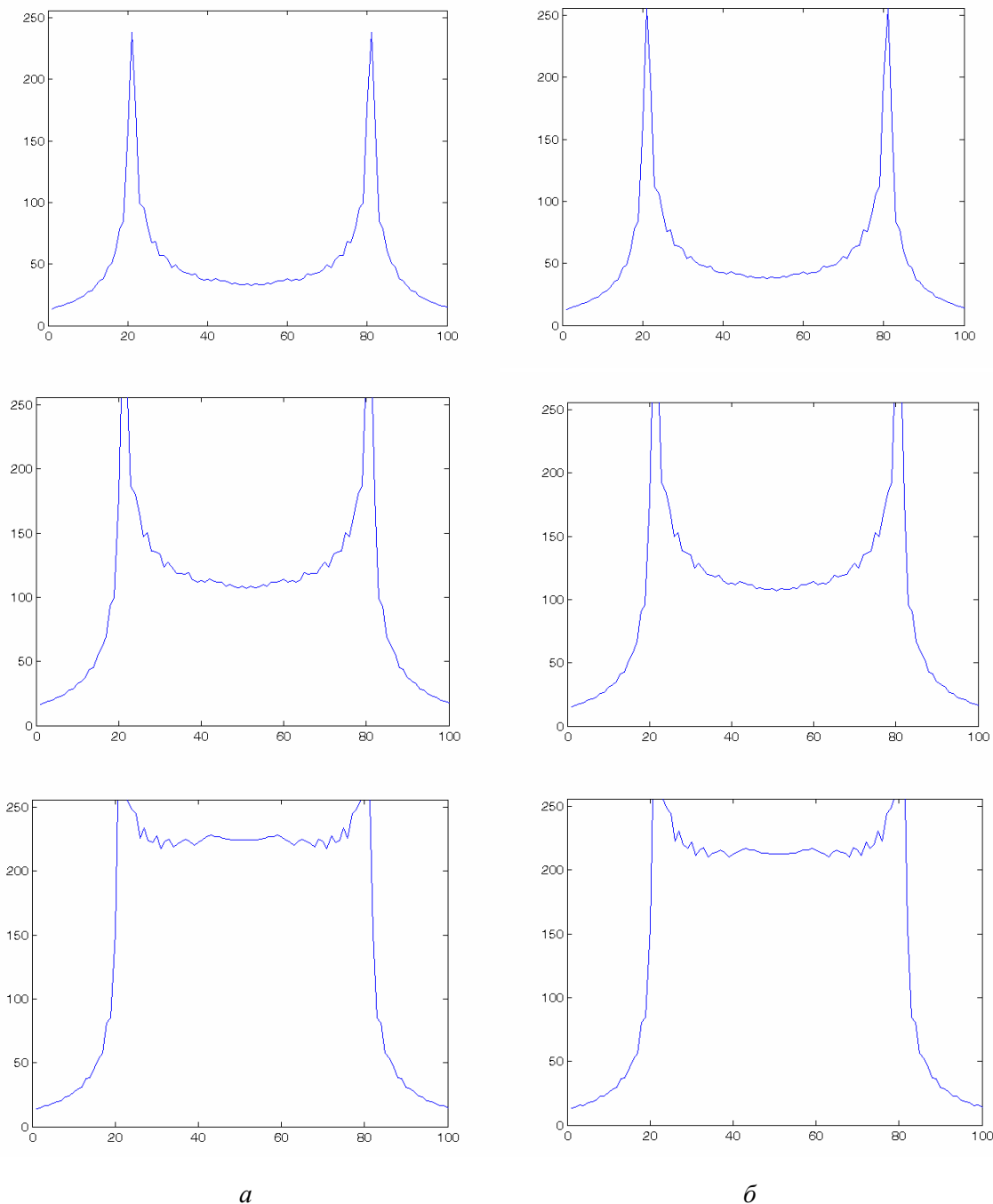




**Рис. 4.** Результаты моделирования изображений, формируемых теньвым визуализатором плотностных неоднородностей автоколлимационного типа, с когерентным (*a*) и некогерентным (*б*) источниками света.

На рис. 5 приведены графики распределения освещённости вдоль прямой, проходящей через центр изображения в направлении нормали к кромке ножа формируемые прибором с когерентным (*a*) и некогерентным (*б*) источниками. Графики последовательно соответствуют значениям  $\eta_1 = 1.5, 0, -1.5$  мкм. Согласно принятой нормировке графики приведены в 256 градациях.

Выбранная нормировка не отражает того факта, что при использовании когерентного источника света изображения характеризуются большей интенсивностью, чем при использовании некогерентного источника. Различие средней интенсивности можно компенсировать за счёт чувствительности матрицы фотоприёмника, поэтому в данной работе рассматриваются нормированные изображения.



**Рис. 5.** Распределения освещённости вдоль прямой, проходящей через центр изображения в направлении нормали к кромке ножа, формируемые прибором с когерентным (*а*) и некогерентным (*б*) источниками света.

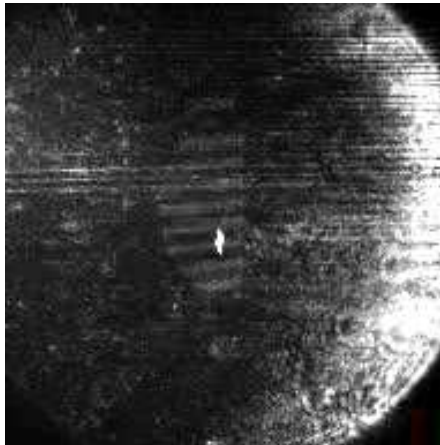
По рис. 4 и 5 можно проследить изменения изображения, формируемого в теновом визуализаторе плотностных неоднородностей морской среды автоколлимационного типа, в условиях вибраций носителя аппаратуры в отсутствии неоднородностей в просмотровом объёме прибора. Учёт конечных размеров светового пучка позволил смоделировать дифракционный эффект, проявляющийся в виде двух полуокружностей в верхней и нижней частях кадра.

Смоделированное распределение освещённости характеризуется краевой засветкой и центральной областью. Визуальный анализ полученных изображений показывает, что по мере смещения изображения источника в плоскости  $U_w$  из перекрытой ножом

области в неперекрытую увеличивается ширина краевой засветки и освещённость центральной области матрицы фотоприёмника.

Анализ распределений освещённости (см. рис. 5) показывает, что для некогерентного источника по сравнению с когерентным, при колебаниях источника, значения интенсивности изображения в центральной области находятся ближе к значению интенсивности, определённой для несмещённого положения источника. Значения нормированных интенсивностей для несмещённого источника света в обоих случаях совпадают.

На рис. 6 приведено типичное изображение, формируемое реальным теневым визуализатором плотностных неоднородностей, установленным на виброактивном носителе аппаратуры.



**Рис. 6.** Типичное изображение, формируемое теневым визуализатором плотностных неоднородностей автоколлимационного типа в натуральных условиях.

Проявлением вибрационной помехи является характерная засветка в форме полукругности. Экспериментально полученный результат качественно соответствует модельным представлениям. Несимметричность реального изображения вызвана особенностями настройки теневого визуализатора.

\*\*\*

Основываясь на полученных ранее результатах, выполнено моделирование влияния вибраций на формирование изображения в теневых визуализаторах плотностных неоднородностей морской среды с учётом конечных размеров источника света.

В работе приведены аналитические выражения, описывающие основные свойства рассматриваемой оптической системы. Отмечены свойства оптической схемы теневого визуализатора, позволяющие свести задачу с двухмерным источником света к задаче с одномерным источником.

В рамках универсальной модели рассмотрены два варианта реализации теневого прибора: с когерентным и некогерентным источниками света. Для обоих вариантов реализации прибора проведено численное интегрирование полученных аналитических зависимостей и приведены распределения освещённостей для различных отклонений автоколлимационного зеркала.

Смоделирован дифракционный эффект, проявляющийся в виде двух полукругностей в верхней и нижней частях изображения. Показано последовательное изменение изображений, формируемых теневым визуализатором при отклонении автоколлимационного зеркала на различные углы под влиянием вибраций носителя гидрофизической аппаратуры.

Показано качественное соответствие модельных расчётов с экспериментальными данными.

Автор благодарит своего научного руководителя Г.А.Федотова за постановку задачи и ценные советы.

### Литература

1. *Брамсон М.А., Красовский Э.И., Наумов Б.В.* Морская рефрактометрия. М.: Гидрометеиздат, 1986. 248 с.
2. *Сергиевский Н.А., Горбацкий В.В., Скопин Н.А.* О некоторых практических приложениях гидрофизических технологий при решении актуальных проблем народнохозяйственных задач // Труды 6-й междуна. конф. "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики". СПб.: Наука, 2002.
3. *Родионов А.А., Черницкий В.В.* Результаты исследований горизонтальной изменчивости гидрофизических полей океана // Труды 4-й междуна. конф. "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики". СПб. 1998.
4. *Васильев Л.А.* Теневые методы. М.: Наука, 1968. 400 с.
5. *Дерновский В.Л., Дорохов П.В., Федотов Г.А.* Физико-математическая модель влияния вибраций на формирование изображений в теневых визуализаторах плотностных неоднородностей морской среды // Науч.-техн. сб. «Новые технические средства и технологии в гидрофизических системах». СПб.: ЗАО «Гранит-7», 2009. С. 56-60.
6. *Дерновский В.Л., Федотов Г.А.* Некоторые особенности изображений, формируемых теневым визуализатором автоклиматического типа, установленным на виброактивном носителе аппаратуры // Сб. докл. науч. сес. ГУАП, посв. Всемирному дню космонавтики. СПб.: ГУАП, 2009.
7. *Дерновский В.Л., Федотов Г.А.* Уточнение физических процессов, ответственных за формирование изображений в теневых визуализаторах в условиях вибраций носителя аппаратуры // Науч.-техн. отч. СПб.: ЗАО «Гранит-7», 2009.

Статья поступила в редакцию 27.11.2009 г.

