

УДК 004; 534.213

ОБРАБОТКА ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПАНОРАМНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПОСТРОЕНИЕ 3-D ИЗОБРАЖЕНИЯ МОРСКОГО ДНА

© А.И. Гончар, С.И. Донченко, Л.В. Нестеренко, Л.И. Шлычек, А.И. Шундель, 2005

Научно-технический центр панорамных акустических систем НАН Украины, г. Запорожье

Розглянуто спосіб обробки інтерферометричної інформації ГБО, заснованій на аналізі матриць коефіцієнтів кореляції окремих реалізацій з послідовністю опорних сигналів. На основі даних кореляційної обробки проведені лінії максимумів інтерференції, по обробленій інтерферограмі побудовано трьохвимірне зображення морського дна.

Рассмотрен способ обработки интерферометрической информации ГБО, основанный на анализе матриц коэффициентов корреляции отдельных реализаций с последовательностью опорных сигналов. На основе данных корреляционной обработки проведены линии максимумов интерференции, по обработанной интерферограмме построено трёхмерное изображение морского дна.

The way of the interferometric information processing of side scan sonar, based on the analysis of correlation coefficient matrixes of separate realizations with a sequence of basic signals is considered. On the basis of correlation processing data the lines of maxima interference are drawn, on processed interferogram 3D image of sea bottom is built.

Задача підвищення ефективності картографування рельєфа дна, з використанням фазових ГБО з великою базою, потребує розвитку існуючих і створення нових аналітико-чисельних методів обробки інтерферометричної гідролокаційної інформації [1, 2]. Одним з основних інструментів налагодки розроблюваних алгоритмів обробки інтерферограм в останнє час стає побудова адекватних практиці математических моделей панорамної зйомки [3].

Преимущество использования моделей состоит в возможности получения быстрой и точной оценки эффективности алгоритмов обработки исходной информации в достаточно широком диапазоне параметров съемки [4]. Это позволяет обоснованно выбирать направления модификации алгоритмов, что повышает скорость их разработки и, в отдельных случаях, существенно увеличивает их эффективность.

Характерным примером использования такого подхода является моделирование панорамной съемки ГБО с фазометрическими каналами при движении в сложных навигационных условиях над заданным виртуальным полигоном. Синтезируемые в модели интерферометрические изображения представляют собой исходный материал, необходимый для отладки и верификации алгоритмов корреляционной обработки. Рассмотрим в этом контексте основные этапы анализа интерферометрической информации.

Основной задачей анализа интерферометрических изображений является совершенствование алгоритмов устойчивого выделения линий интерференционных максимумов и устранения неоднозначности определения их номеров.

Для первичной обработки интерферограмм используются корреляционные методы анализа. Вид одной из реализаций $u(t)$ интерферограммы представлен на рис. 1а. Реализация $u(t)$, изображённая на рис. 1а, является первой реализацией снизу интерферограммы на

рис. 2. Элементы корреляционной матрицы \mathbf{C} , относящейся к реализации $u(t)$, определяются как коэффициенты

$$c(v, \sigma) = \text{corr}[u(t), U(t, v, \sigma)]$$

взаимной корреляции между реализацией $u(t)$ и опорным сигналом

$$U(t, v, \sigma) = \exp[-\sigma^2(t-v)^2/2], \quad v \in [0, T],$$

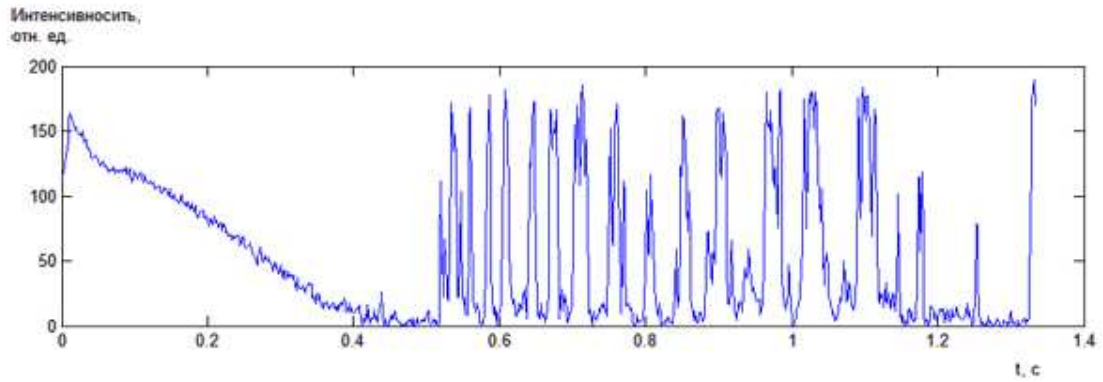
где T - длительность реализации (рис. 1б).

Далее проводится оценка P_{corr} линий корреляционных максимумов (рис. 1в), наблюдаемых в матрице \mathbf{C} , на основе которой выбираются $N = d/\lambda$ (d - база антенной пары интерферометра, работающего на длине волны λ) наиболее коррелирующих выборок (рис. 1г). Корреляционная фильтрация связана с Wavelet-теорией обработки сигнала.

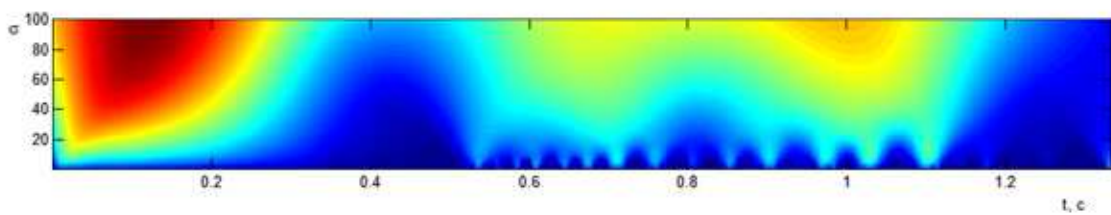
Вторичная обработка заключается в исключении выборок, не образующих линий интерференционных максимумов, и в устранении областей разрывов линий, соответствующих зонам тени, путем интерполяции. Первой линией является линия глубины. Для всех остальных линий находится множество $\{\Delta r_n\}$ – расстояния от n -ой линии до всех гипотетических точек реализации. Точку, которая относится к n -ой реализации, находим путём минимизации множества $\{\Delta r_n\}$.

Реализации алгоритмов обработки по изложенной методике показывают свою высокую эффективность в решении задачи анализа сложных интерферометрических изображений (рис. 2 – 5), однако пока не могут быть использованы для обработки в режиме реального времени из-за большой трудоемкости расчетов.

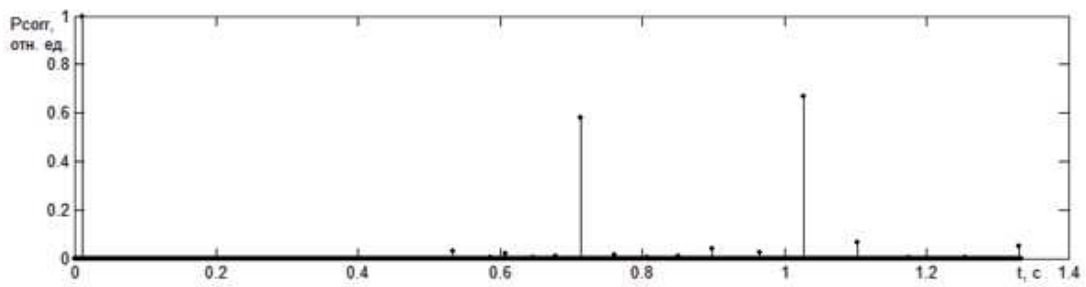
Использование рассмотренных способов анализа интерферометрических изображений требует регистрации последовательностей мгновенных значений $\{\alpha, \beta, \gamma\}$ с помощью датчиков углов крена, дифферента, курса, а также точной привязки антенной пары к географическим координатам с помощью DGPS. Поэтому аппаратно-программная интеграция интерферометрических ГБО (равно как и других панорамных гидроакустических средств) с источниками навигационных данных становится одним из основных условий повышения качества определения и картографирования глубин акватории. Для решения этой задачи на программном уровне целесообразно использовать событийно-ориентированные информационные модели, оптимизированные для разработки гидроакустических комплексов [4].



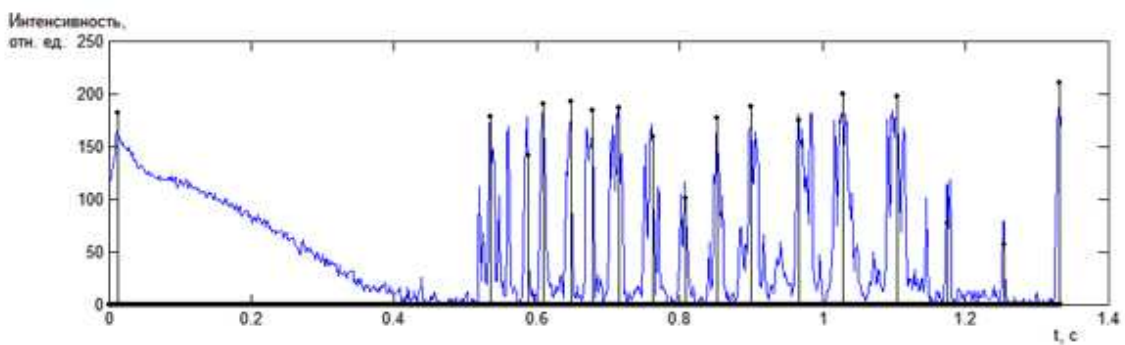
а) исходная реализация с шумом



б) корреляционная матрица реализации



в) оценка корреляционных максимумов



г) реализация после первичной обработки

Рис. 1. Первичная корреляционная обработка отдельной реализации интерференционного сигнала

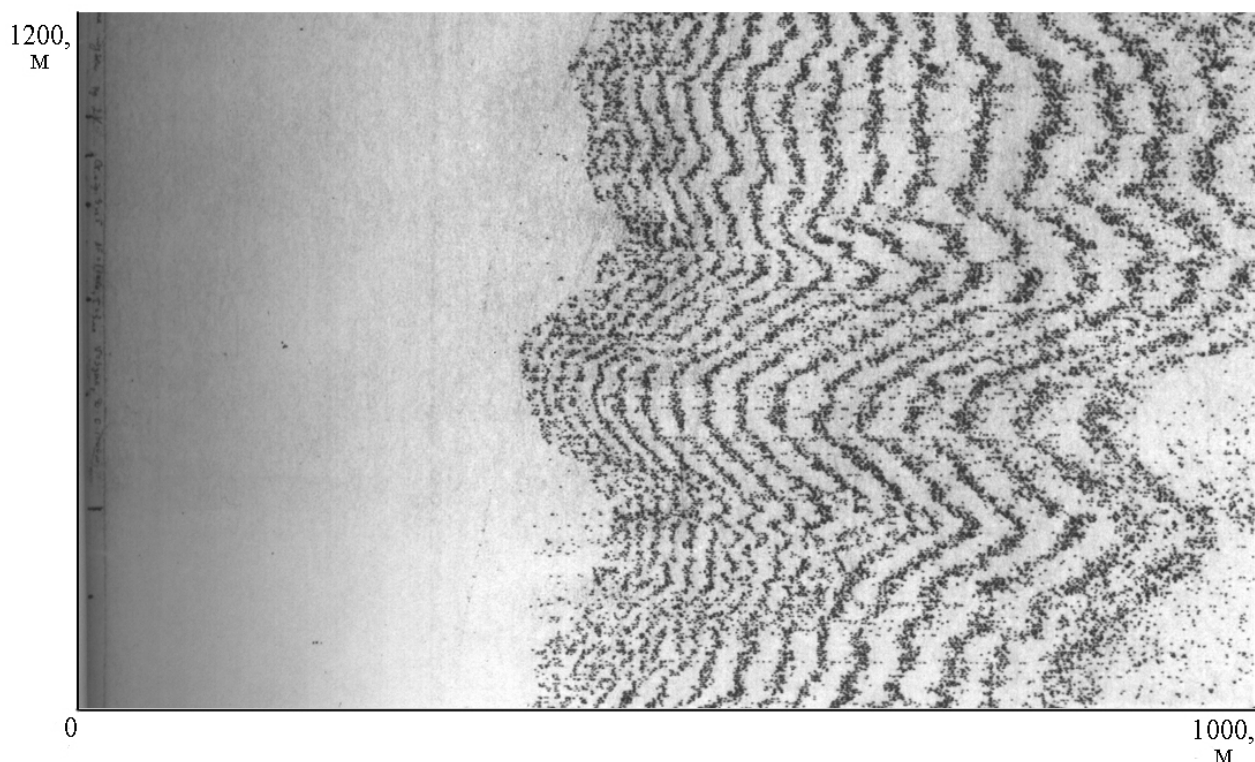


Рис. 2. Исходная интерферограмма

Часть интерферограммы, изображённая на рис. 2, получена в ходе проведения натуральных испытаний с помощью ГКБО-5000 в Чёрном море.

Выделив линии интерференционных максимумов (рис. 3) и присвоив им номера, глубины на линиях максимумов определяются формулой:

$$Z_n = \rho_n \frac{2n\lambda\rho_n - (n\lambda)^2 + d^2}{2\rho_n d},$$

где n – номер линии;

ρ_n – наклонная дальность до n -ой линии;

λ – длина волны;

d – база.

Имея в качестве исходных данных координаты точек и их глубины, используя бигармоническую сплайн-интерполяцию, получаем трёхмерное изображение рельефа морского дна (рис. 4 - 5).

Изобаты на рис. 4 проведены через 10 м, а подписи к ним через 20 м.

Изобаты на рис. 5 проведены через 2 м, а подписи к ним через 4 м. Рис. 5 является увеличенной частью рис. 4.

На рис. 6 изображена зависимость погрешности определения наклонной дальности. Разброс точек обусловлен дестабилизирующими факторами (качкой).

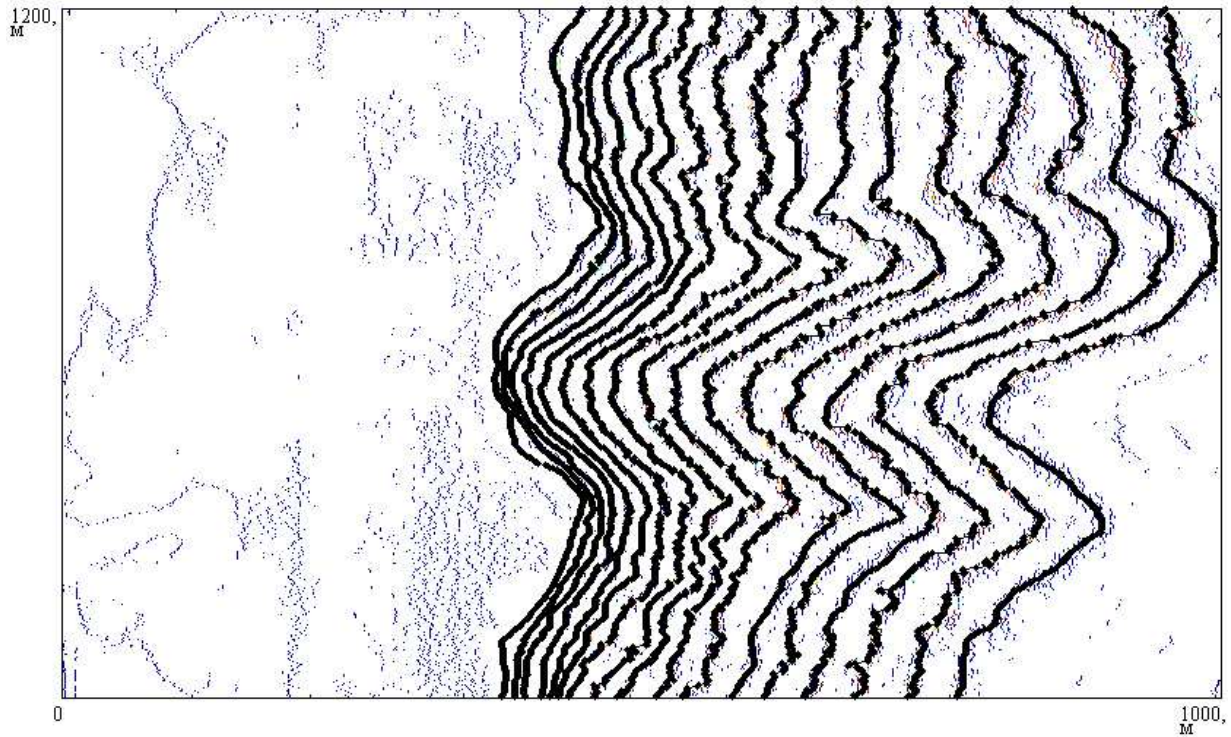


Рис.3. Линии интерференционных максимумов после первичной и вторичной обработки

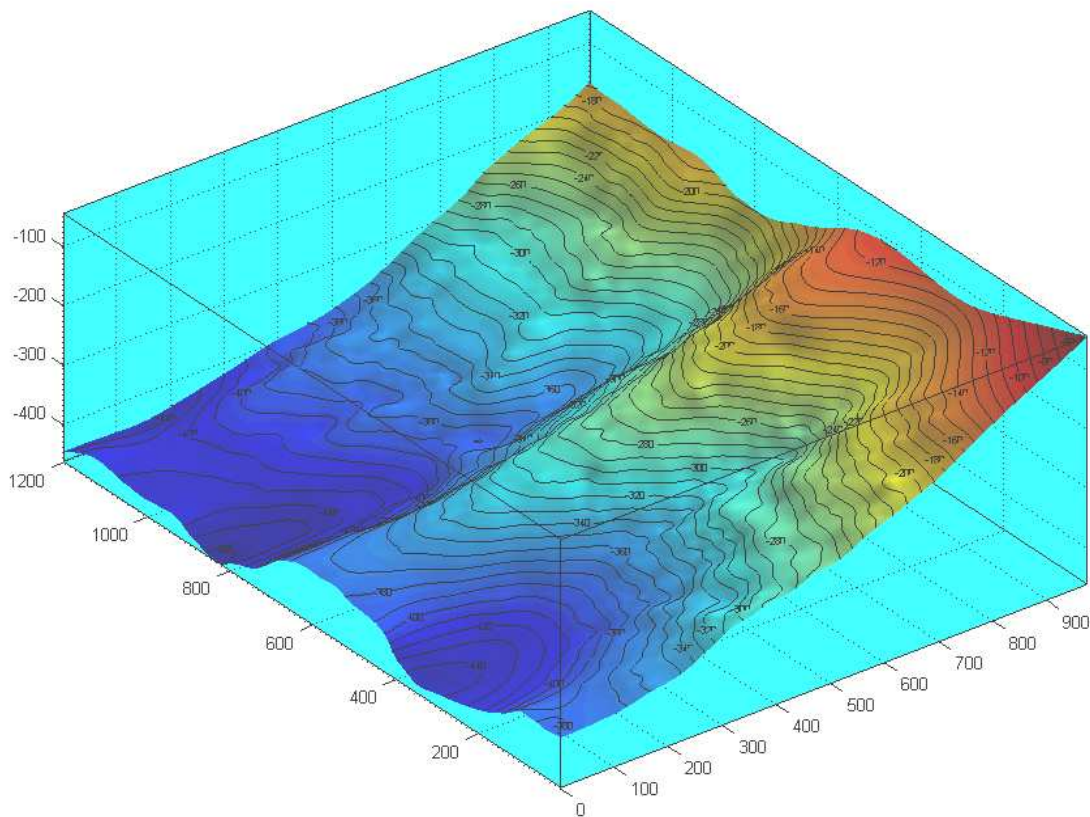


Рис. 4. Трёхмерное изображение рельефа дна после обработки интерферограммы

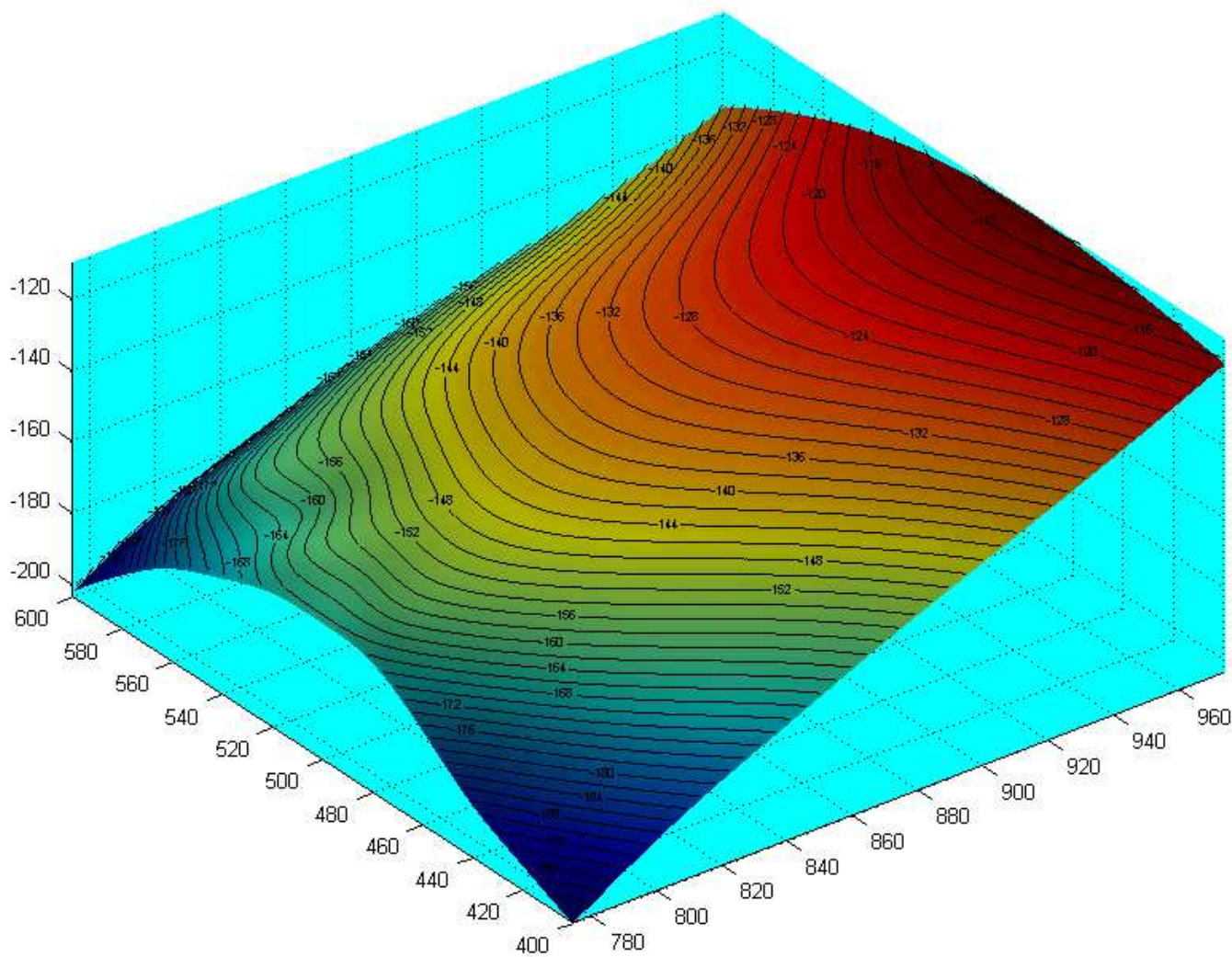


Рис. 5. Увеличенная часть донного рельефа

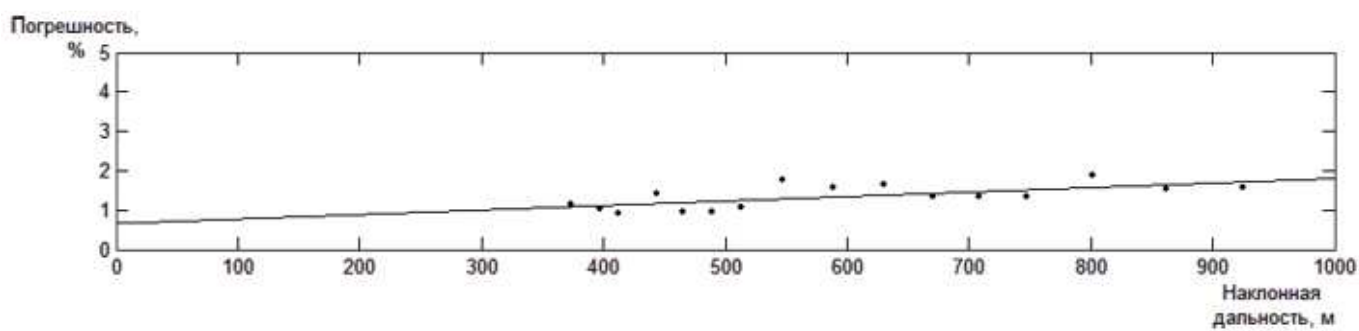


Рис. 6. Зависимость погрешности определения расстояния

Таким образом, проблема эффективной обработки сложных интерферометрических изображений дна требует создания развитых математических моделей процесса панорамной съемки, в рамках которых решаются задачи комплексного синтеза и анализа данных. Задача построения устойчивого алгоритма обработки интерферограмм в этом контексте может быть сведена к более общей проблеме адаптации к изменяющимся условиям подводного наблюдения за счет компенсации дестабилизирующих факторов панорамной съемки.

Литература

1. Теоретические основы создания панорамных гидроакустических систем / А.И. Гончар, О.С. Голод, Ю.А. Клочан, Л.И. Шлычек / Под ред. А.И.Гончара. – Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины, 1999. - 290 с.
2. Проблемы, методы и средства исследований Мирового океана: Сб. научн. тр. – Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины, 2003. - 238 с.
3. Гончар А.И., Шлычек Л.И., Гончар Ю.А., Писанко И.Н. Использование математических моделей при разработке панорамных гидроакустических систем // Труды международной конференции «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии» (НО-2004). – Том 2. СПб: ГНИНГИ МО РФ. - 2004. – С. 87-91
4. Гончар А.И., Шлычек Л.И., Донченко С.И., Писанко И.Н. Исследование информационных потоков в реализациях панорамных гидроакустических систем // Труды международной конференции «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии» (НО-2004). – Том 2. СПб: ГНИНГИ МО РФ. - 2004. – С. 91-93