

Министерство транспорта Российской Федерации
Департамент морского транспорта
Государственная морская академия им. адм. С.О. Макарова

На правах рукописи

РГБ ОД

10 мая 2001

КРЮКОВ Игорь Владимирович

УДК 528.22 (26)

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕДУР
КАМЕРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МНОГОЛУЧЕВЫХ
ЭХОЛОТОВ**

Специальность - 05.22.17 - Водные пути сообщения и
гидрография

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2000

Работа выполнена в Северном государственном федеральном унитарном научно-производственном предприятии по морским геологоразведочным работам ГНПП «Севморгео».

Научный руководитель: Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации доктор технических наук, профессор И.А. Блинов

Официальные оппоненты: Председатель Российского Гидрографического общества доктор технических наук Н.Н. Неронов

кандидат технических наук
А.Е. Волков

Ведущая организация: ГП ПМГРЭ

Защита состоится «17» апреля 2000 г. в 10-00 часов на заседании Специализированного совета Д 101.02.02. Государственной морской академии имени адмирала С.О. Макарова по адресу: Санкт-Петербург, Косая линия, дом 15-а, ауд. 216.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГМА им. адм. С.О. Макарова.

Автореферат разослан «14» марта 2000 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, в двух экземплярах просим направлять в адрес ученого секретаря Специализированного совета ГМА по адресу: 199026, Санкт-Петербург, Косая линия, дом 15-а, ГМА.

Ученый секретарь

Специализированного совета Д 101.02.02

к.т.н., доцент

 В.А. Прокофьев

Д 221.7с 0,0

0471-522.3-05,0

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Всестороннее изучение Мирового Океана с целью использования его ресурсов является одной из глобальных проблем человечества. Создание многолучевых эхолотов вывело эту проблему на качественно новый уровень. С появлением высокоточных сертифицированных систем нового поколения, в которых используются новейшие конструкторские решения при разработке акустических излучателей и при создании новых технологий цифровой сигнальной обработки, многолучевые эхолоты становятся наиболее эффективным средством для проведения гидрографических работ, так как значительно снижают материальные и временные затраты за счет расширения полосы обзора и увеличения объема собираемых данных.

Однако при использовании многолучевых систем, в отличие от однолучевых, возникают дополнительные проблемы по обеспечению необходимых точностей измерений глубин. Они определяются рядом факторов. Поскольку современный эхолот может работать только в комплексе с датчиками навигационной информации и информации о пространственной ориентации судна-носителя, то наряду с учетом погрешностей, вносимых самим эхолотом, появляется необходимость в учете погрешностей измерений этих датчиков, существенно влияющих на качество выходной информации, особенно при проведении глубоководных промеров. Необходимо также вводить поправки за рефракцию наклонных акустических лучей при их распространении в неоднородной морской среде.

Перечисленные задачи требуют детального рассмотрения, учитывая высокие требования, предъявляемые к точности определения глубин при проведении гидрографических промеров и, особенно, для успешного осуществления геофизических и геоморфологических исследований. Так, для проведения качественной магнитной съемки на континентальном шельфе или в Мировом Океане необходимо

как можно более точное знание форм рельефа дна в зоне промера. Только в этом случае можно корректно провести учет влияния резко расчлененного рельефа на измеряемые значения геомагнитного поля.

Обработка данных многолучевых эхолотов становится особо актуальной задачей именно теперь в связи с вводом в эксплуатацию первого отечественного многолучевого эхолота «Сапфир» и использованием на нескольких российских научных судах аналогичных зарубежных систем (НИС «Геленджик» - SIMRAD EM 12S, НИС «Петр Котцов» - SIMRAD EM 100, ЗАО «Морской канал Санкт-Петербурга» - SIMRAD EM 300).

Цель работы - разработка и теоретическое обоснование эффективных процедур камеральной обработки выходных данных измерительного комплекса на базе многолучевого эхолота с целью повышения их качества, оценка точности результатов промера после проведенной обработки.

Научная новизна диссертации заключается в разработке ряда оригинальных подходов к определению систематических погрешностей углов крена и дифферента судна, к выбору информативных гидрологических горизонтов в вертикальном профиле скорости звука. Опробована схема комплексирования навигационной информации от нескольких датчиков в камеральной обработке для определения координат судна на моменты излучения эхолота. Впервые предложено применение алгоритмов, использующих основные положения метода локальной аппроксимации, для статистической обработки массивов измеренных глубин.

Практическая ценность результатов работы определяется тем, что был предложен последовательный технологический цикл обработки данных, выдаваемых измерительным комплексом на базе многолучевого эхолота, от их выбора из базы данных до формирования регулярного,

подготовленного для построения отчетных планшетов массива глубин с привязкой к навигационным данным. На основе разработанных алгоритмов был создан комплекс программно-математического обеспечения с широкими возможностями графического интерфейса.

Методы исследования. Теоретические основы работы базировались на методах акустики, вычислительной математики, теории вероятности и статистики, линейной алгебры, интегрального и дифференциального исчисления.

Проверка разработанных процедур проводилась по результатам промерных работ, выполненных эхолотом SIMRAD EM 12S на НИС «Геленджик» в 1996 году, а также в ходе численного моделирования.

Реализация результатов исследования. Разработанные процедуры камеральной обработки навигационно-батиметрической информации использовались в госбюджетной НИР № 601 «Разработать и создать навигационно-батиметрический управляющий комплекс на базе АСУД-4 в составе многолучевых эхолотов», входящей в федеральную целевую программу «Мировой океан» Департамента науки и морских работ Министерства Природных Ресурсов РФ. Государственный регистрационный номер темы 01980008826.

Результаты исследований применялись во время рейсов на НИС «Академик Александр Карпинский», принадлежащем ГП «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», они внедрены в комплексе камеральной обработки данных многолучевого эхолота «Сапфир».

Апробация работы. Основные положения диссертации и научно-технические результаты исследований докладывались автором на третьей научно-технической конференции «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии» НО-98 (Санкт-Петербург, май 1998 г.), на Заседании круглого

стола Гидрографического Общества России совместно с Общественным институтом навигации (Санкт-Петербург, май 1999 года.

Публикации. По теме диссертации опубликованы пять научных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 116 машинописных листов, включая 4 приложения, 29 рисунков и список литературы из 88 наименований.

На защиту выносятся:

- сравнительный анализ существующих алгоритмов камеральной обработки данных многолучевых эхолотов;
- разработанные процедуры, использованные при создании ПМО комплекса камеральной обработки;
- результаты апробирования предложенных процедур, полученные по материалам промерных работ, выполненных эхолотом SIMRAD EM 12S, а также с использованием модельных данных ЭМЛ «Сапфир».

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

ВВЕДЕНИЕ

Во введении обоснована актуальность темы, определена цель исследования, описаны рассмотренные вопросы и основные результаты работы.

ГЛАВА I. Анализ современного состояния проблемы обработки данных многолучевых эхолотов.

В п. 1.1 приведено краткое описание общей структуры измерительных аппаратно-программных комплексов на базе

различных зарубежных многолучевых эхолотов и более подробно рассматривается один из блоков этих комплексов - блок камеральной обработки.

Указывается, что несмотря на использование каждым разработчиком программных продуктов собственных подходов для решения проблемы повышения эффективности обработки больших объемов данных измерительного комплекса с целью выделения полезной информации, анализ существующих материалов указывает на общую модульную структуру программно-математического обеспечения, каждый модуль которого решает свои специфические задачи.

Отмечается, что и в России появились первые работы, связанные с вопросами камеральной обработки данных многолучевых систем. Они ведутся сейчас по двум направлениям: для разрабатываемого в Гос. НИНГИ МО РФ семейства фазовых гидролокаторов бокового обзора АГКПС и разрабатываемого НИИ «Риф» по заказу МПР РФ глубоководного многолучевого эхолота «Сапфир» (функциональная схема навигационно-батиметрического комплекса на его основе приведена на Рис. 1). Существующие на сегодняшний день разработки в основном представляют собой отдельные программные модули, использующие упрощенные алгоритмы, учитывающие влияние лишь ряда факторов на излучение, прием и распространение акустических лучей. Ограниченные возможности графического интерфейса и отсутствие строгой логической схемы процесса камеральной обработки создают определенные неудобства для пользователей. Именно поэтому перед ГНПП «Севморгео» была поставлена задача разработки законченного программного продукта, в котором были бы устранены отмеченные недостатки. Полученные при ее решении результаты были положены в основу данной диссертационной работы.

В п. 1.2 дается аналитический обзор основных алгоритмов, используемых в различных модулях зарубежных программных продуктов камеральной обработки, отмечены как их

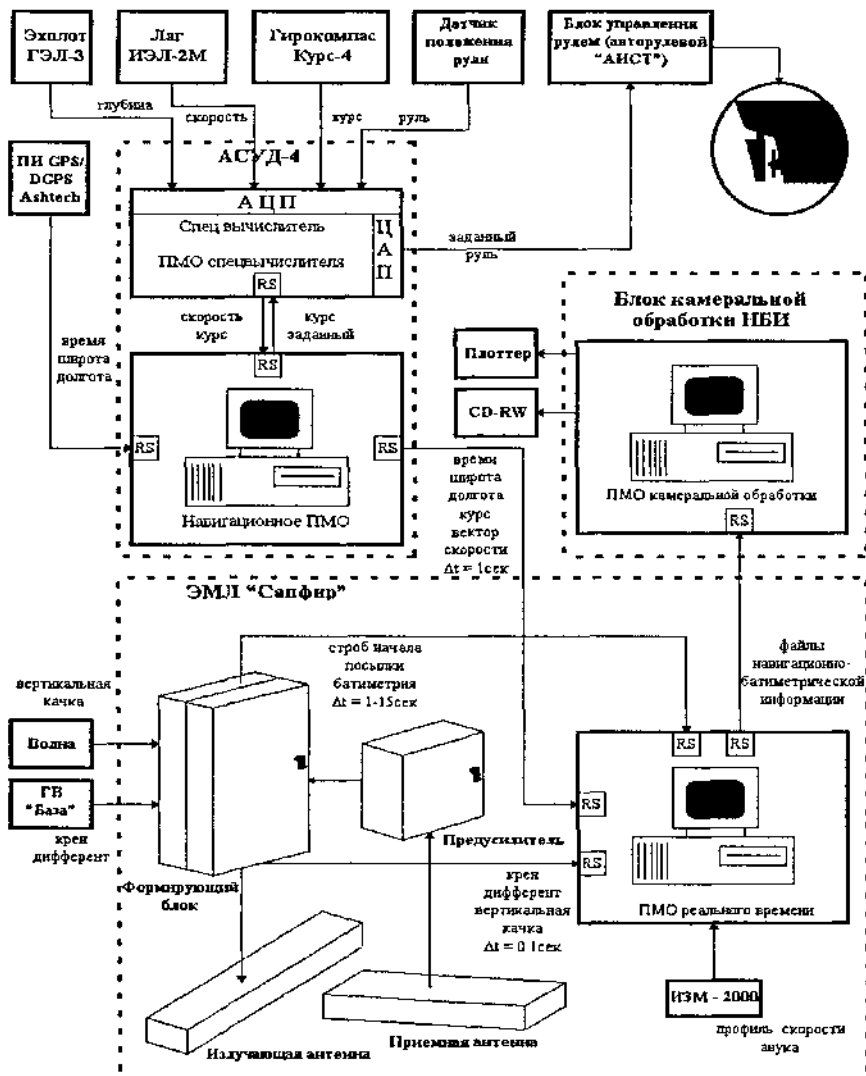


Рис 1. Функциональная схема навигационно-батиметрического комплекса на базе ЭМУ «Сапфир».

достоинства, так и значительные недостатки, которые необходимо устранять при создании нового программного обеспечения.

ГЛАВА II. Разработка и исследование процедур камеральной обработки информации от измерительного комплекса на базе многолучевого эхолота.

В данной главе излагаются предлагаемые процедуры последовательной обработки навигационно-батиметрических данных.

В п. 2.1 рассматривается алгоритм комплексирования навигационной информации, получаемой как от спутниковой навигационной системы, так и в результате счисления координат по данным лага и гирокомпаса. Если в режиме реального времени для оценки местоположения судна приходится использовать только измерения его координат на интервале $\Delta t \cong 10-20$ минут до текущего момента времени, то в условиях камеральной обработки эту оценку можно получить, используя не только предшествующие измерения, но и информацию о последующих измерениях:

$$\hat{\phi}_t = 0.5(\hat{\phi}_t^{\rightarrow} + \hat{\phi}_t^{\leftarrow}), \quad (1)$$

$$\hat{\lambda}_t = 0.5(\hat{\lambda}_t^{\rightarrow} + \hat{\lambda}_t^{\leftarrow}), \quad (2)$$

где $\hat{\phi}_t^{\rightarrow}, \hat{\lambda}_t^{\rightarrow}$ - оценки широты и долготы на момент t , полученные при использовании данных интервала времени $[t - \Delta t; t]$, $\hat{\phi}_t^{\leftarrow}, \hat{\lambda}_t^{\leftarrow}$ - оценки широты и долготы на момент t , полученные при использовании данных интервала $[t; t + \Delta t]$. Тогда оценка точности определения местоположения судна

улучшится в $\sqrt{2}$ по сравнению с оценками, получаемыми в реальном времени.

Если посылка сканирующего сигнала многолучевого эхолота произошла в момент времени T , то координаты судна на этот момент определяются следующим образом:

$$\hat{\varphi}_T = \hat{\varphi}_t + \frac{(T-t)}{\Delta t'} (\hat{\varphi}_{t+\Delta t'} - \hat{\varphi}_t), \quad (3)$$

$$\hat{\lambda}_T = \hat{\lambda}_t + \frac{(T-t)}{\Delta t'} (\hat{\lambda}_{t+\Delta t'} - \hat{\lambda}_t), \quad (4)$$

где $\Delta t'$ - интервал времени между соседними оценками местоположения судна: $t < T < t + \Delta t'$.

В п. 2.2. изложена процедура расчета глубин и координат точек отражения акустических сигналов от дна как в судовой системе координат, так и в географической системе. Вначале определяется величина фактического угла выхода луча многолучевого эхолота и направления его распространения в системе координат, связанной с положением антенны излучателя. Из-за наличия систематических погрешностей в углах крена и дифферента фактический угол выхода луча не совпадает с тем, который формируется эхолотом. Введем обозначения: θ_j - формируемый эхолотом угол наклона j -го луча с учетом электронной стабилизации угла крена и возможного присутствия систематической ошибки в определении угла крена $\Delta\theta$, ψ - не скомпенсированный угол дифферента на момент посылки эхолота (поскольку производится полная аппаратная компенсация измеренного угла дифферента, остается только систематическая ошибка в определении угла дифферента $\Delta\psi$). Тогда из Рис.2 (на нем ось ОХ направлена в диаметральной плоскости судна, ось ОУ - в плоскости мидель шпангоута) видно, что угол фактического

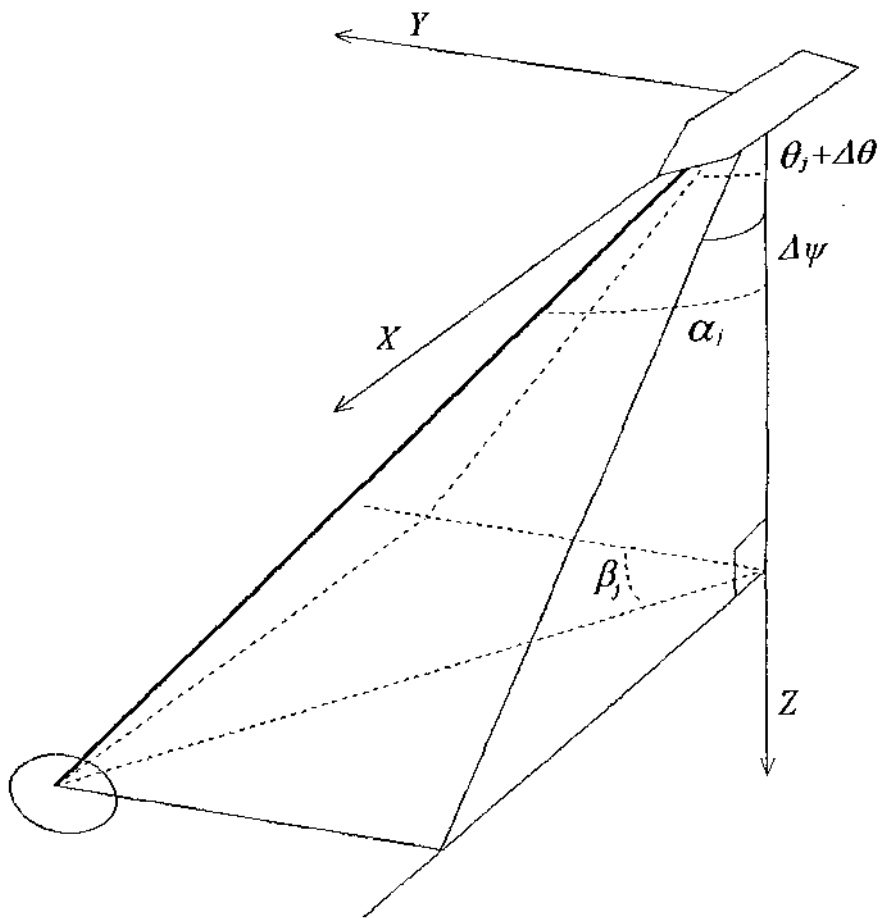


Рис 2. Определение фактического угла выхода луча ЭМЛ «Сапфир» в системе координат, связанной с положением излучателя.

выхода j -го луча эхолота относительно вертикали α_j определяется следующей формулой:

$$\alpha_j = \arccos(\cos \theta_j \cos \psi), \quad (5)$$

а угол направления распространения луча относительно плоскости мидель шпангоута судна β_j :

$$\beta_j = \arctan \left(\frac{\sin \psi}{\tan \theta_j} \right). \quad (6)$$

Без учета рефракции акустических лучей в водной среде ошибка определения глубины возрастает почти экспоненциально с увеличением угла наклона луча к вертикали. Это обстоятельство заставляет использовать информацию о гидрологических горизонтах при расчете пути луча в слоисто-неоднородной среде. Приводится алгоритм определения (с учетом гидрологии) глубин отражения h_j и горизонтальных отстояний r_j для лучей эхолота в системе координат, связанной с положением излучателя эхолота. После этого легко перейти в судовую систему координат. Далее, если известны $\hat{\varphi}, \hat{\lambda}$ - оценки широты и долготы судна в географической системе координат на момент посылки эхолота, и Ψ - измеренный курсовой угол на тот же момент, тогда координаты точки отражения j -го луча эхолота в этой системе координат определяются следующим образом:

$$\varphi_j = \hat{\varphi} + X_j^c \cos \Psi - Y_j^c \sin \Psi, \quad (7)$$

$$\lambda_j = \hat{\lambda} + X_j^c \sin \Psi + Y_j^c \cos \Psi. \quad (8)$$

Здесь X_j^c - продольное отстояние места отражения j -го луча от центра судна, Y_j^c - поперечное отстояние места отражения j -го луча от центра судна.

В п. 2.3 описывается процедура автоматического выбора информативных горизонтов в профиле вертикального разреза скорости звука (ВРСЗ). Чем большее число гидрологических горизонтов участвует в расчете глубин и координат точек отражения акустических сигналов от дна, тем большее время он занимает. Поэтому необходима методика исключения из исходного профиля вертикального разреза скорости звука тех горизонтов, влиянием которых в пределах требуемой точности расчета можно пренебречь.

Задача отбора наиболее информативных горизонтов сводится к задаче нахождения наилучшего приближения к исходному профилю ВРСЗ, сохраняющему его основные особенности. Пусть у нас есть измерения скорости звука C_i на глубинах Z_i ($i = 1, N$), известны примерный диапазон глубин в зоне промера и ширина диаграммы направленности эхолота. Всегда можно шаг за шагом выбрать n ($n = 3, \dots, N$) горизонтов C', Z' ($Z'_1 = Z_1, C'_1 = C_1, Z'_n = Z_N, C'_n = C_N$), используя следующий алгоритм: пусть уже отобраны i -ый и $i + 1$ -ый информативные гидрологические горизонты, а между ними существуют горизонты исходного профиля, тогда самым информативным из них является отстоящий на наибольшее расстояние от прямой, соединяющей точки (C'_i, Z'_i) и (C'_{i+1}, Z'_{i+1}) . С геометрических позиций это означает, что максимальна площадь треугольника $A_1 A_2 A_3$ (Рис. 3). В этом случае и модуль градиента скорости звука в слое $A_1 A_2$, и модуль градиента скорости звука в слое $A_2 A_3$ являются наилучшими

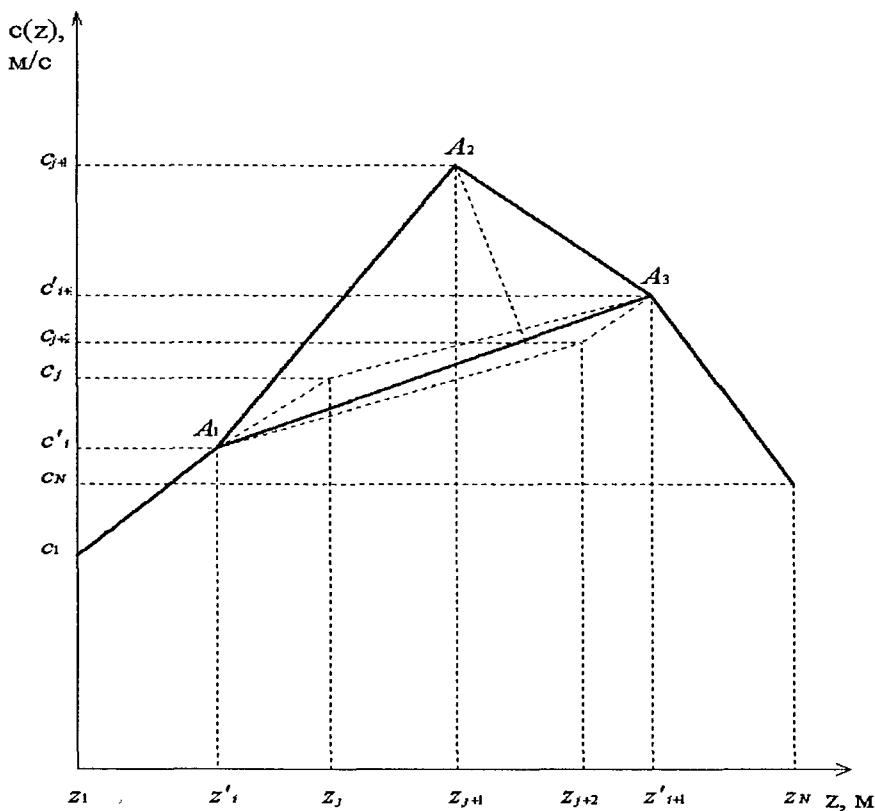


Рис 3. Исключение горизонтов в исходном профиле ВРСЗ.

приближениями к значениям средних модулей градиентов по слоям исходного профиля ВРСЗ, попадающим, соответственно, в области глубин A_1A_2 и A_2A_3 . Таким образом последовательно отбираются гидрологические горизонты, которые наилучшим образом аппроксимируют исходный профиль. Рассмотрим $\delta_{nN}(\alpha, t)$ - величину отклонения в положениях следа луча на дне при расчете с выбранными n наиболее информативными

горизонтами и при расчете со всеми N горизонтами (в обоих случаях угол выхода луча α , время распространения луча t):

$$\delta_{nN}(\alpha, t) = \frac{\sqrt{(h(n, \alpha, t) - h(N, \alpha, t))^2 + (r(n, \alpha, t) - r(N, \alpha, t))^2}}{h(N, \alpha, t)} 100\%. \quad (9)$$

На сетке допустимых углов и глубин в зоне промера $0 < \alpha_i < \alpha_{\max}$, $h_{\min} < h_j < h_{\max}$ требуется проверить условие удовлетворения следующему критерию по мере увеличения n :

$$\delta_{nN}(\alpha_i, t_j) < \delta_{\max}, \quad (10)$$

где δ_{\max} - максимально допустимая величина отклонения в процентах к глубине (она определяется из конкретных требований точности, но не может превышать относительной суммарной СКП определения глубины), t_j определяется из условия $h(N, \alpha_i, t_j) = h_j$. В расчете нужно оставить n_{\min} горизонтов, с которыми критерий начинает выполняться для всего диапазона углов и глубин.

Процедуры определения систематических погрешностей углов крена и дифферента и временной задержки передачи навигационных данных изложены в п. 2.4. Даже небольшие погрешности в определении углов крена и дифферента судна приводят к существенному изменению картины рельефа дна на больших глубинах. Они определяются наличием систематических погрешностей измерительных приборов. Далее, поскольку судно представляет собой динамическую систему, под действием различных факторов постоянно происходит изменение пространственной ориентации антенн эхолота, и, следовательно, требуется проведение новой калибровки

оборудования. Предлагаются модернизированные по сравнению с зарубежными аналогами процедуры определения погрешностей крена и совместного определения погрешности дифферента и временной задержки передачи навигационных данных (эта задержка обусловлена временными затратами на расчет координат приемопередатчиком по сигналам спутников и на комплексирование навигационных данных в реальном времени). Использование этих процедур в камеральной обработке позволяет определить ошибки и ввести поправки уже после проведения съемки дна.

Наличие случайных погрешностей в измерениях обуславливает необходимость проведения площадной статистической обработки данных после компенсации систематических погрешностей. Эта обработка основана на применении методов среднеквадратических приближений, которые позволяют использовать избыточность информации для сглаживания случайных ошибок. Наиболее известным из них является классический метод наименьших квадратов (МНК). Базирующиеся на МНК алгоритмы площадной обработки данных, используемые в большинстве зарубежных программных продуктов, имеют ряд недостатков, а именно, требуют высокой пространственной плотности измерений для построения подходящих оценок и большого числа слагаемых в разложении. Использование метода локальной аппроксимации, являющегося, по сути, непараметрической модификацией МНК, позволяет в большей степени избежать этих ограничений. Метод не требует высокой пространственной плотности измерений, благодаря чему дает хорошие оценки для больших глубин при одном проходе судна над исследуемым районом дна. Также преимуществом использования МЛА является его самонастройка на неравномерную плотность исходных измерений по участкам исследуемого дна, связанную как с наличием перепадов глубин, так и нестабильностью параметров движения судна. В п. 2.5 изложена общая концепция метода и предложения по использованию его частного случая - нулевого

порядка локальной аппроксимации для статистической обработки данных многолучевых эхолотов.

ГЛАВА III. Точностные характеристики используемых процедур камеральной обработки.

В п. 3.1 дан анализ структуры ошибок измерительного комплекса на базе многолучевого эхолота «Сапфир», установленного на НИС «Акад. Александр Карпинский», поскольку инструментальные погрешности датчиков оказывают определяющее влияние на достоверность обработанной информации.

С учетом основных источников ошибок измерений комплекса в п. 3.2. проводится оценка зависящей от них суммарной погрешности определения положения и глубины отражения для каждого акустического луча. Оценка получается поэтапно, путем расчета ковариационных матриц погрешностей величин, входящих в формулы п. 2.2, без использования каких-либо приближений и упрощений. Приведенные формулы позволяют оценить на ЭВМ погрешность измерения глубины любым лучом эхолота в любой посылке.

После определения погрешностей для каждого конкретного измерения глубины встает вопрос о качестве обработки массива данных в целом предложенными процедурами, то есть о количественной оценке степени соответствия построенной модели реальному рельефу дна. Эта задача рассматривается в п. 3.3, 3.4 и 3.5.

До настоящего времени не были проведены приемные испытания ЭМЛ «Сапфир» на сертифицированных полигонах с различной расчлененностью рельефа, по результатам которых следует проводить оценку. Поэтому была разработана модель (имитатор) промера многолучевым эхолотом «Сапфир» эталонного участка дна, которую можно использовать для проведения анализа качества камеральной обработки.

Полученная по измерениям SIMRAD EM-12S модель дна была выбрана в качестве эталонной для проверки работоспособности алгоритмов камеральной обработки данных ЭМЛ «Сапфир». Для этого были смоделированы два галса промера в противоположных направлениях (по 350 посылок каждый с десяти секундными интервалами между посылками, средние курсовые углы 309° и 130°, средняя скорость судна на галсе 10 узлов). При этом в показания всех используемых датчиков были внесены как систематические, так и случайные погрешности, их дисперсии определялись инструментальными точностями приборов.

В качестве параметров, характеризующих степень несовпадения «измеренных» и «истинных» глубин, рассматривались средние значения модуля относительной погрешности измерения глубин на галсе (в %) как для каждого функционирующего луча ЭМЛ «Сапфир», так и для всех лучей:

$$\overline{(|\Delta z / z|)_i} = \frac{1}{N1} \sum_{j=1}^{N1} \frac{|z_{ij}^{изм} - z_{ij}^{ист}|}{z_{ij}^{ист}} 100\%, \quad (11)$$

$$|\overline{\Delta z / z}| = \frac{1}{N2} \sum_{i=1}^{N2} \overline{(|\Delta z / z|)_i}. \quad (12)$$

Здесь $z_{ij}^{изм}$ - измеренное значение глубины для i -го луча в j -ой посылке, $z_{ij}^{ист}$ - истинное значение глубины в точке отражения луча от дна, $N1$ - число посылок эхолота (в данном случае 350 посылок), $N2$ - число функционирующих лучей эхолота (115 лучей).

Анализируя необработанные данные, можно сказать, что для боковых лучей погрешность резко возрастает и значительно превышает предельно допустимое значение 1%, устанавливаемое требованиями Международной Гидрографической Организации (ИНО) и Правил

гидрографической службы №4 к качеству промера. Распределения относительной погрешности для исходных данных первого галса оказывается симметричным относительно нуля и достаточно медленно спадающим, так что доверительная вероятность того, что относительная погрешность измерения меньше 1%, равна 0.53. Таким образом, качество исходных данных не позволяет использовать их для построения отчетной документации.

В соответствии с последовательностью камеральной обработки данных многолучевого эхолота, на первом этапе по разработанным алгоритмам были выявлены и скомпенсированы систематические погрешности угла крена и угла дифферента. Выбирались несколько калибровочных участков, на каждом из них проводилось определение значений поправок, и путем усреднения были получены следующие значения для систематических погрешностей крена: $\Delta\phi = 0.41^\circ$ и дифферента: $\Delta\psi = 0.23^\circ$; они достаточно хорошо согласуются с заданными при моделировании промера. При этом улучшение качества исходных данных за счет компенсации систематических погрешностей составляют соответственно примерно 5% и 0.1%. Однако и после введения поправок качество данных остается неудовлетворительным.

Далее проводилась обработка данных первого галса с использованием нулевого порядка локальной аппроксимации. В 5000 узлах построенной регулярной сети, для которой расстояние между ближайшими узлами составляет 230 метров, были рассчитаны значения оценок глубин при различных значениях параметра локальной аппроксимации $A = 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170$ и 190 метров. При этом среднее расстояние между ближайшими измерениями глубин на галсе составляло 66 метров. На Рис.4 приведен график зависимости рассчитанного по 5000 оценкам среднего значения модуля относительной погрешности глубин от параметра локализации. Минимальное значение 0.44% от глубины достигается при $A \sim 80$ метров, при уменьшении и увеличении параметра погрешность возрастает,



Рис 4. График зависимости среднего значения модуля относительной погрешности глубин от выбранного при построении модели параметра локальной аппроксимации

поскольку при малых A полностью отсутствует сглаживание случайной составляющей погрешности измерений, а при больших A происходит сглаживание не только случайной погрешности, но и особенностей расчлененного рельефа. Поэтому при создании модели следует выбирать параметр локализации порядка одного-двух средних расстояний между ближайшими точками измерений, исходя из конкретных условий съемки. Анализируя плотности распределения относительной погрешности глубин для моделей, построенных при различных значениях A , можно отметить, что плотность быстро спадает с увеличением относительной погрешности. Доверительные вероятности того, что относительная погрешность глубин построенной модели меньше 1%, превосходят 0.8 для всех A , принимая максимальное значение 0.912 при $A = 70$ метров.

ГЛАВА IV. Проверка работоспособности разработанных процедур при обработке реальных данных многолучевых эхолотов.

В п. 4.1 приводятся результаты обработки данных установленного на НИС «Геленджик» многолучевого эхолота SIMRAD EM-12S. Они были получены в сентябре 1996 года в результате съемки четырьмя галсами по заказу Роскомнедра, Съемка проводилась в Средиземном море в районе с координатами $36^{\circ}50'N$ - $37^{\circ}00'N$, $20^{\circ}30'E$ - $20^{\circ}50'E$. Была выбрана относительно плоская равнина (преобладающие глубины 2900 м - 3200 м) с возвышением в центральной части, имеющем крутые склоны, с минимальной глубиной 2000 м. Для проведения морских контрольных испытаний галсы были спланированы следующим образом: первоначально проложены два встречных галса, лежащие на одной линии пути и направленные по нормали к изобатам возвышенности, третий галс прошел параллельно им с 50% перекрытием следов акустических лучей на дне, а также был проложен четвертый перпендикулярный секущий галс. Выбранный участок дна, положение и качество промеров полностью удовлетворяют требованиям к проведению калибровок аппаратуры, поэтому оказалось возможным опробовать весь цикл обработки данных от выборки галсов до построения батиметрической карты и трехмерной картины дна. Весь цикл обработки данных четырех галсов (порядка 80000 точек) на персональном компьютере с процессором Intel Pentium-II 233 Mhz занял порядка 45 минут, в то время, как тот же объем данных система NEPTUNE, установленная на рабочей станции Sun SPARC 20, обрабатывает не менее часа.

В п. 4.2. приведены результаты обработки модельных данных ЭМЛ «Сапфир». Форматы обмена данными были полностью согласованы с разработчиками аппаратной части, поэтому комплекс камеральной обработки подготовлен к обработке выходных данных этого эхолота.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных работ был создан универсальный пакет программно-математического обеспечения камеральной обработки данных многолучевых эхолотов. Были проведены его лабораторные испытания с использованием данных ЭМЛ SIMRAD EM-12S и модельного галса ЭМЛ «Сапфир». Используемые в работе современные методы обработки информации позволили получить следующие основные результаты:

1. Применение комплексирования навигационной информации в камеральной обработке позволяет значительно повысить (в 2.5 - 4 раза) точность навигационной привязки мест отражения акустических лучей ЭМЛ.

2. При расчете рефракции акустических лучей теперь учитывается только информативная гидрологическая информация.

3. Предложены эффективные алгоритмы автоматической калибровки датчиков ориентации судна и положения антенн.

4. Предложена процедура оценки СКП измерений глубин с учетом инструментальных погрешностей измерителей.

5. Обеспечено повышение точности результатов промера в 1.5 - 2 раза при обработке данных разного качества по методу локальной аппроксимации.

Была разработана первая версия графического интерфейса оператора, обеспечивающего работу с пакетом в операционной среде Windows 95/98 для IBM-PC с процессором Intel Pentium II. По времени, затрачиваемому на обработку, программы не уступают большинству зарубежных аналогов, установленных к тому же на более производительных рабочих станциях.

Полученные результаты могут быть использованы в ряде других проектов, а именно, они могут найти применение в процедурах статистической обработки массива глубин более высокими порядками локальной аппроксимации; возможна модификация алгоритмов для обработки измерений поля силы

тяжести и геомагнитного поля; также возможно привлечение информации о корреляционных связях, существующих между полями, являющимися объектом комплексной морской гидрографической съемки, для восстановления рельефа дна.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Проблемы разработки программно-математического обеспечения для обработки данных многолучевых эхолотов. Доклад на 3-ей Российской научно-технической конференции «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии» НО-98, С-Петербург, 1998, стр. 80. Соавторы: Кузьмин Ю.И., Дорот И.Л.

2. Оценка точности измерений глубин многолучевым эхолотом «Сапфир». - Деп. рук. ВИЭМС №1089мг99 от 22.04.99, 14 м.п.с.

3. Особенности вторичной обработки данных многолучевых эхолотов. Разведка и охрана недр, № 7-8, 1999, стр. 50-54. Соавторы: Кузьмин Ю.И., Дорот И.Л., Крылов А.В.

4. Камеральная обработка данных многолучевых эхолотов, применяемых при проведении гидрографических исследований. Навигация и гидрография, № 8, 1999, стр. 67-72. Соавторы: Кузьмин Ю.И., Дорот И.Л.

5. Камеральная обработка данных многолучевого эхолота «Сапфир». Доклад на V Международной конференции по судостроению, судоходству, деятельности портов и освоению океана и шельфа «НЕВА-99», С-Петербург, 1999, стр. 162-163. Соавторы: Кузьмин Ю.И., Дорот И.Л.

Ротапринт ВНИИ Океангеология
Подписано к печати 09.03.00. Зак. 9. Тираж 70 экз.