

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ

На правах рукописи

ФИЛИН

Виктор Николаевич

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ В НИЗКОЧАСТОТНЫХ
РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Специальность 05.22.16 - "Судовождение"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Одесса - 1996

628. 84. 042



00757120 (М)

Работа выполнена в Одесской государственной морской академии

Научный руководитель:

- кандидат технических наук, доцент Коваленко В.И.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор Вагущенко Л.П.;

- кандидат технических наук Дудник С.А.

Ведущая организация:

Черноморское морское пароходство.

Защита состоится "13" *декабря* 1996 г. в 10⁰⁰ часов на заседании специализированного Совета Д 05.17.01 по защите докторских диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук в Одесской государственной морской академии по адресу: Одесса, ул. Дидрихсона, 8.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан "12" *ноября* 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета

Д 05.17.01,

доктор технических наук

И.В. Капитонов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из главных направлений повышения безопасности мореплавания является повышение точности и надежности определения места судна. Это обусловлено повышением требований по безопасности человеческой жизни на море, экономическими и экологическими аспектами.

В настоящее время возможности низкочастотных радионавигационных систем (РНС) в отношении точности и надежности определения места судна используются неполностью, поэтому работа по реализации этих возможностей является актуальной.

Цель работы состояла в разработке методов повышения точности и надежности определения места судна по низкочастотным РНС и предложений по доработке приемоиндикаторов (ПИ) и включала в себя:

- исследование эффективности низкочастотных РНС на современном этапе и возможных путей повышения точности и надежности определения места судна;

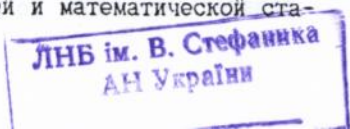
- разработку метода определения места судна, позволяющего использовать всю предоставляемую низкочастотной РНС информацию;

- разработку алгоритма определения места судна по низкочастотным РНС с использованием избыточных линий положения (ЛП);

- выработку предложений по модификации ПИ;

- оценку эффективности предложенных методов.

Методы исследования. При выполнении работы применялись следующие методы: теории вероятностей и математической ста-



тики, математического моделирования, линейного и объектно-ориентированного программирования.

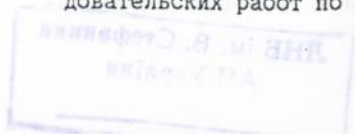
Научная новизна работы заключается в разработке метода, обеспечивающего использование всей информации, предоставляемой низкочастотной РНС, что позволяет значительно повысить точность и надежность определения места судна в обслуживаемом РНС районе. Из результатов работы, обладающих научной новизной можно привести следующие:

- показана возможность получения дополнительных ЛП;
- выполнена сравнительная оценка точности определения дополнительных ЛП;
- получено распределение зон равной точности для дополнительных ЛП;
- предложен новый алгоритм обработки данных низкочастотных РНС;
- предложены варианты доработки ПИ низкочастотных РНС для возможности использования дополнительных ЛП;
- произведена оценка точности и надежности определения места судна при использовании дополнительных ЛП.

Практическая ценность. Область практического применения результатов данной работы является судовождение, где полученные результаты позволят повысить точность и надежность определения места судна.

Разработанный метод получения дополнительных ЛП используется в учебном процессе ОГМА, при дипломном проектировании.

Разработанные алгоритм и программа построения сеток навигационных изолиний могут применяться для выполнения исследовательских работ по размещению береговых станций, а также



в автоматизированных системах судовождения.

Разработанный алгоритм определения места судна по низкочастотным РНС с использованием дополнительных ЛП может применяться при разработке программного обеспечения ПИ.

Предложенные варианты доработки аппаратуры ПИ могут использоваться при ее проектировании.

Внедрение. Результаты диссертационной работы внедрены при разработке технического проекта совмещенного ПИ спутниковых и радионавигационных систем в НИИ "Квант" и в учебный процесс в ОГМА.

Аппробация работы. Результаты работы докладывались автором на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ОГМА 1989 - 1994 г.г., в Одесском политехническом университете, на кафедре "Радиотехнических систем" и на научно-техническом совете в НИИ "Квант" в 1995 г.

Публикации. Результаты работы опубликованы в 4 статьях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5-ти глав, заключения, списка литературы: 93 названия, 3 приложений, изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 22 рисунка, 5 таблиц.

В первой главе выполнен анализ точности и надежности определения места судна по низкочастотным РНС. Приведены характеристики традиционного метода использования этих систем, который заключается в измерении при помощи ПИ только двух навигационных параметров (НП) по парам станций ведущая-ведомая. Показано, что увеличить число НП в большинстве случаев не удастся из-за ограниченного числа ведомых станций в цепочке и их взаимного расположения.

Проведенный анализ показывает, что цепочки низкочастотных РНС чаще всего состоят из ведущей и трех ведомых станций. Так, для РНС "Декка" это составляет 83,3% от общего числа цепочек, для "Лоран-С" - 50,7%. Для получения оптимальной рабочей зоны таких цепочек обычно ведомые станции располагаются в вершинах примерно равностороннего треугольника. Типовая цепочка низкочастотной РНС и сформированная ею сетка навигационных изолиний (гипербол) показаны на рис. 1.

Учитывая перечисленные особенности анализ точности и надежности навигационной информации выполнен для типовой цепочки, когда три ведомые станции расположены в вершинах примерно равностороннего треугольника и для определения места используются две ЛП.

Проведен анализ факторов, влияющих на точность определения места судна по низкочастотным РНС. В их числе следующие: средняя квадратическая погрешность измерения НП σ_{ϵ} , базовый угол ψ , коэффициент взаимной корреляции ρ , угол пересечения ЛП α_n . Эти факторы влияют на следующие показатели точности определения места судна.

Точность измерения НП определяется наличием погрешностей в процессе измерения. Характеризуется средней квадратической погрешностью (СКП) σ_{ϵ} .

Точность определения ЛП:

$$\sigma_1 = \sigma_{Dp} / 2 * \sin(\psi/2), \quad (1)$$

где σ_{Dp} - СКП измерения разности расстояний до станций;

ψ - базовый угол при месте судна, образованный прямыми, соединяющими точку места судна и станции.

Точность определения места судна методом ЛП определяется формулой:

Сетка гипербол, сформированная при традиционном методе
использования цепочки



Рис. 1

$$\sigma_r = \frac{\sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{12}^2 + 2\sigma_{11} * \sigma_{12} * \rho * \cos(\alpha_m)}}{\sin(\alpha_m)} \quad (2)$$

Геометрический фактор РНС. Геометрический фактор связывает точность определения места судна с видом РНС и взаимным расположением судна и станций. Общее выражение для геометрического фактора при двух ЛП и равноточных измерениях НП:

$$\Gamma = \frac{\sigma_r}{\sigma_\varepsilon} = \frac{1}{\sin(\alpha_m)} * \sqrt{\frac{1}{\sin^2(\psi_1/2)} + \frac{1}{\sin^2(\psi_2/2)}} \quad (3)$$

где $\psi_{1,2}$ - обозначены базовые углы на 1 и 2 пары станций.

Наглядное представление об ожидаемой точности определения места судна в различных точках рабочей зоны РНС даст зоны равной точности. Расположение их для типовой цепочки представлено на рис.2. Зоны равной точности для значения $\Gamma = 1$ заштрихованы.

Анализ формул (1 - 3) и зон равных точностей для традиционного метода использования цепочки низкочастотной РНС позволяют сделать следующие выводы:

наилучшая точность определения места судна обеспечивается вблизи ведущей станции ; при удалении от нее точность ухудшается из-за роста погрешностей определения ЛП и уменьшения угла их пересечения;

при движении судна вдоль линии, соединяющей ведомые станции точность определения места судна резко меняется, ухудшаясь при приближении в ведомым станциям.

Анализ надежности традиционного использования навигационной информации низкочастотных РНС показывает, что ис-

Зоны равной точности при традиционном использовании
цепочки низкочастотной РНС

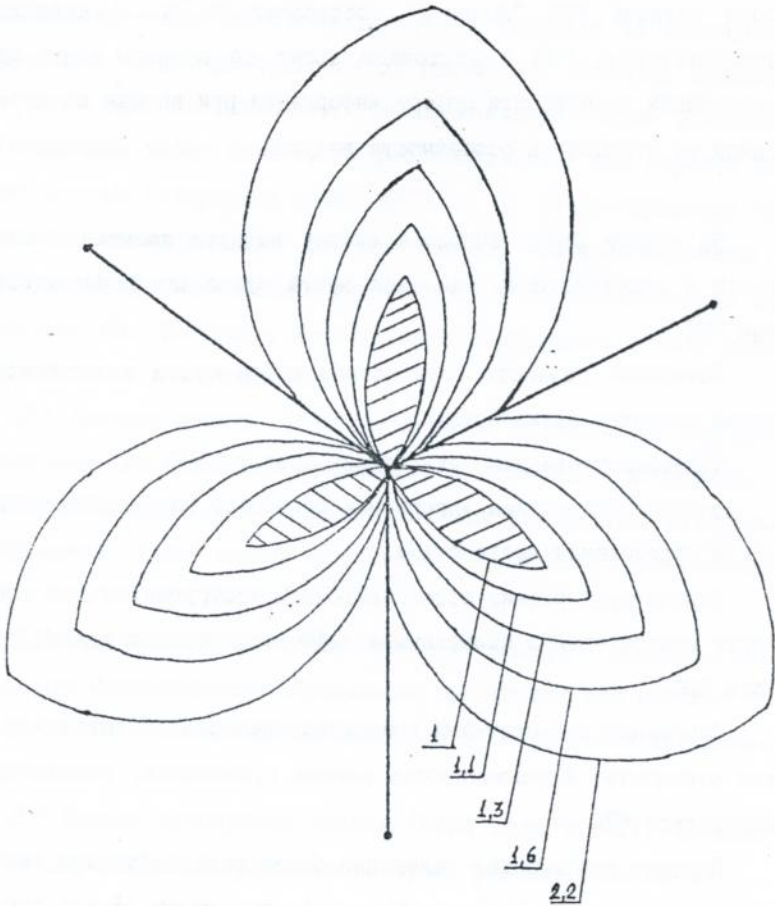


Рис. 2

пользование 2-х ЛП не обеспечивает в достаточной мере защиту измерений от промахов.

По данным исследований оценка надежности безотказной работы станций РНС "Лоран-С" составляет 99,3%. В цепочках низкочастотных РНС в настоящее время не приняты меры для уменьшения возможности потери информации при выходе из строя одной из станций, в особенности ведущей.

Во второй главе выполнен анализ методов повышения точности и надежности определения места судна по низкочастотным РНС.

Повышение точности определения места судна в настоящее время возможно двумя путями:

совершенствованием технических средств РНС;

совершенствованием алгоритмов обработки измеренных величин и определения места судна.

Первый путь реализуется повышением инструментальной точности измерителей и применением дифференциального режима работы РНС.

Основными недостатками названных способов являются высокая стоимость, ограниченность района применения, усложнение аппаратуры РНС.

Поэтому для морской навигации более целесообразным является применение усовершенствованных алгоритмов. В их число входят.

1. Алгоритмы обработки измеренных величин. Наиболее целесообразно применение обобщенного метода наименьших квадратов для одновременных наблюдений или метода последовательного уточнения оценок искомых величин для разновременных obser-

ваций.

2. Алгоритмы учета влияния внешней среды. В программном обеспечении ПИ должна быть принята одна из моделей трассы распространения радиоволн для учета поправки за отклонение скорости их распространения от расчетной. Поправка включает в себя три составляющие: за прохождение через атмосферу (первичный набег фазы); за распространение над морской поверхностью (вторичный набег фазы); за распространение над сушей (дополнительный фазовый набег). Обычно первичный и вторичный фазовые набег учитываются в ПИ автоматически при расчете НП. Для учета дополнительного фазового набег могут применяться следующие модели.

2.1. Базовая модель (Baseline model). Принимается, что распространение радиоволн происходит в нормальной атмосфере, а влияние подстилающей поверхности Земли учитывается отдельной поправкой. Такая модель принята в большинстве отечественных ПИ.

2.2. Модель морской трассы (Seawater model). Предполагается, что распространение радиоволн происходит над морской поверхностью. Эта модель используется в большинстве зарубежных ПИ.

2.3. Модель сухопутной трассы (Land mass model). Принимается определенная проводимость суши, равная $0,003 \text{ См/м}$.

2.4. Модель смешанной трассы (Mixed path model). Предполагается, что трасса распространения радиоволн состоит из нескольких морских и сухопутных участков.

2.5. Модель ДМА (Model DMA). Это модель Картографического управления Министерства обороны США. Величина проводимости каждого участка трассы определяется по карте проводимости.

Альтернативным вариантом является использование поправок в виде электронных карт, хранящихся в памяти ПИ.

3. Алгоритмы определения координат судна. Кроме обобщенного метода ЛП, возможно применение конечного алгоритма для разностно-дальномерных РНС.

Проведен анализ методов повышения надежности определения места судна по низкочастотным РНС, в том числе, позволяющих уменьшить вероятность промахов и повышающих надежность получения навигационной информации. Для их реализации необходимо использовать избыточные ЛП.

В третьей главе предложен метод повышения точности и надежности определения места судна по низкочастотным РНС.

Отмечено, что в настоящее время большинство цепочек переключены на автономный режим работы, при котором станции оснащаются высокостабильными стандартами частоты. Это позволяет им работать в независимом режиме с взаимной коррекцией фаз в момент местного полдня для уменьшения влияния погрешности за прохождение радиоволн через атмосферу.

Назовем ЛП, полученные традиционным методом по измерениям НП по парам станций ведущая-ведомая, - основными. Пары станций ведомая-ведомая и соответствующие им ЛП, которые можно получить, измеряя НП между всеми возможными комбинациями пар ведомых, назовем дополнительными.

На рис. 3 представлена типовая цепочка из ведущей и 3-х ведомых станций. Сплошными жирными линиями показаны базовые линии основных пар станций, штриховыми жирными линиями - базовые линии дополнительных пар. Изолинии построены при помощи разработанной программы. Сплошными линиями показаны ос-

Расположение основных и дополнительных навигационных
изолиний

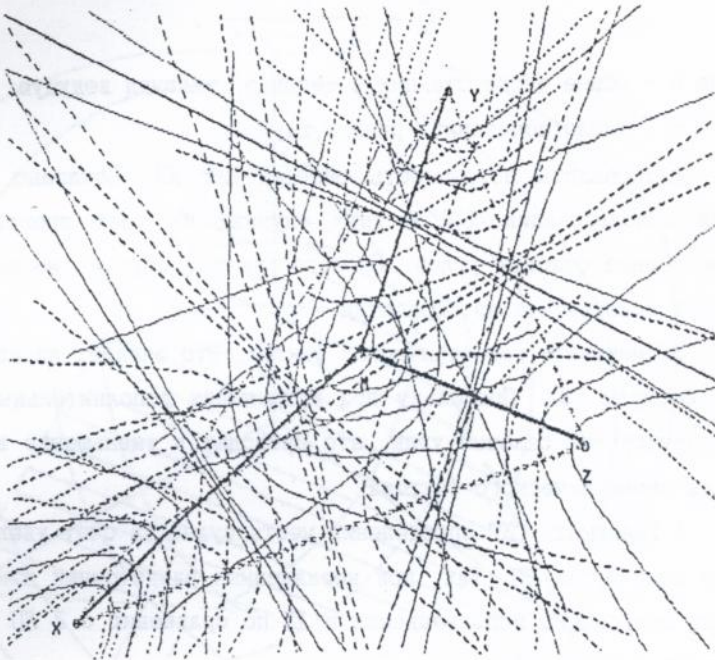


Рис. 3

новые изолинии, штриховыми - дополнительные.

Анализ особенностей низкочастотных РНС при использовании дополнительных ЛП показал, что в этом случае возможно:

1. Увеличить общее число ЛП для определения места судна, которое определится формулой:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}, \quad (4)$$

где n - общее число станций в цепочке, включая ведущую;

m - число сочетаний, равное двум.

2. Уменьшить погрешность определения ЛП. Показано, что при использовании ДЛП в двух случаях из трех происходит увеличение базовых углов. Неблагоприятные случаи уменьшения могут исключаться из обработки.

3. Уменьшить геометрический фактор. Это следует из анализа формулы (3). Поскольку при применении дополнительных ЛП увеличиваются базовые углы, это приводит к уменьшению величины геометрического фактора.

4. Уменьшить СКП определения места судна за счет увеличения количества ЛП. Так, при независимых равноточных измерениях выигрыш от использования n ЛП по сравнению с 2 ЛП оценивается формулой:

$$M_2/M_n = \sqrt{n-1}$$

Реальное повышение точности будет зависеть от корреляции НП, углов пересечения ЛП, фактической точности НП.

5. Получить иное, чем при основных ЛП, расположение зон равной точности, показанное на рис. 4. Особенности зон равных точностей дополнительных ЛП являются:

а) Площади, покрываемые зонами равной точности для одина-

Зоны равной точности для дополнительных ЛП

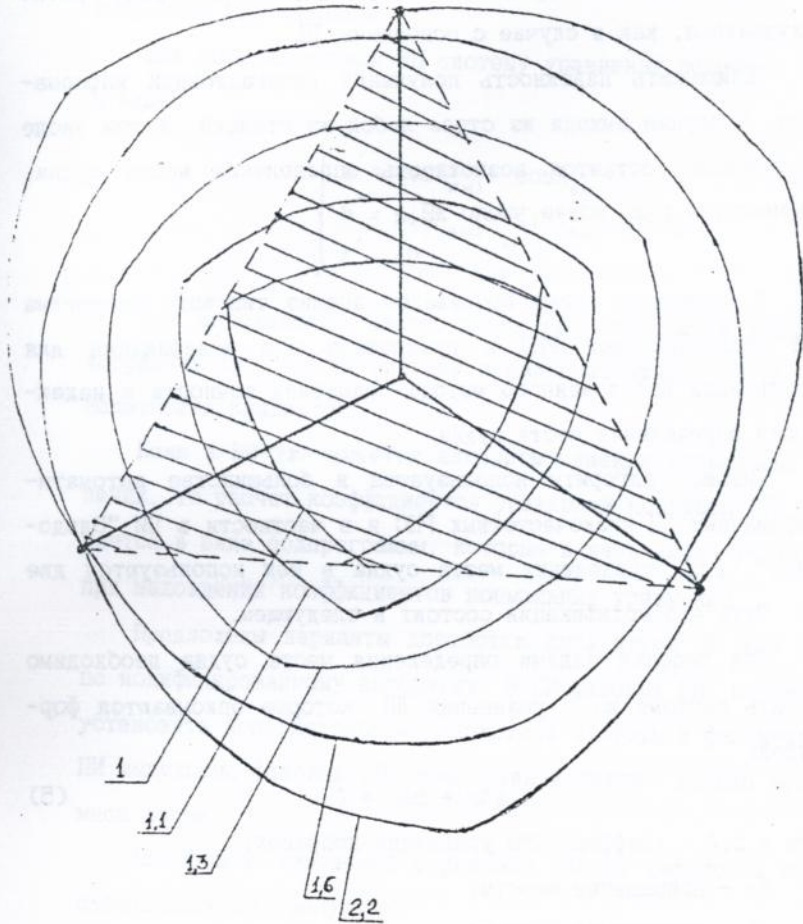


Рис. 4

ковых значений Γ , больше для дополнительных ЛП, чем для основных.

б) Возможность получения достаточно высокой точности определения места судна как вблизи ведущей станции, так и вблизи любой из ведомых.

в) При следовании судна вдоль линии, соединяющей ведомые станции точность определения места судна не будет резко ухудшаться, как в случае с основными ЛП.

б. Повысить надежность получения навигационной информации. В случае выхода из строя любой из станций, в том числе и ведущей, остается возможность определения места судна, уменьшится лишь общее число ЛП.

В четвертой главе произведен анализ типового алгоритма ПИ низкочастотной РНС и предложена его модификация для реализации предложенного метода повышения точности и надежности определения места судна.

Типовой алгоритм используется в большинстве автоматизированных ПИ низкочастотных РНС и в частности в ПИ "Эльдорадо". Для определения места судна в нем используются две ЛП. Суть его модификации состоит в следующем.

Для решения задачи определения места судна необходимо решить систему из n уравнений ЛП, которые описываются формулой:

$$a\Delta\varphi + b\Delta\lambda = l \quad (5)$$

где a, b, l - коэффициенты уравнений поправок;

$\Delta\varphi$ - приращение широты;

$\Delta\lambda$ - приращение долготы.

Для низкочастотных РНС значения коэффициентов уравнений

поправок следующие:

$$\begin{cases} a = \cos A_{Вв} - \cos A_{Ввi} \\ b = \sin A_{Вв} - \sin A_{Ввi} \\ l = \Delta D_{0,c} - \Delta D_c \end{cases} \quad (6)$$

где $A_{Вв, Ввi}$ - азимуты со счислимого места судна на ведущую и i -ю ведомую станции;

$\Delta D_{0,c}$ - обсервованные и счисляемые разности дистанций до выбранных пар станций.

Для дополнительных ПП систему уравнений поправок запишем в виде:

$$\begin{cases} a' = \cos A_{Ввi} - \cos A_{Ввj} \\ b' = \sin A_{Ввi} - \sin A_{Ввj}, \quad i \neq j \\ l' = \Delta D'_{0,c} - \Delta D'_c \end{cases} \quad (7)$$

Для определения места судна рассчитываются приращения координат $\Delta \varphi$ и $\Delta \lambda$ из системы нормальных уравнений по методу наименьших квадратов.

Если в ПИ уже имеется алгоритм решения нормальных уравнений, то расчет коэффициентов уравнений поправок (7) оформляется в виде подпрограммы, которые в дальнейшем учитываются при нахождении коэффициентов нормальных уравнений.

Предложены варианты доработки аппаратуры ПИ для работы по модифицированному алгоритму. В ПИ фазовых РНС необходимо установить дополнительные умножители частоты и фазометры. В ПИ импульсно-фазовых РНС изменения касаются только программной части.

Каких-либо изменений в режимах работы береговых станций производить не требуется.

В пятой главе произведена количественная оценка эффективности предложенных методов.

Установлено, что погрешность определения дополнительных ЛП меньше, чем основных. Отношение погрешностей определения основных ЛП к дополнительным растет при удалении судна от станций. В типовой цепочке отношение достигает двух при удалении на 1200 миль.

Рассмотрены два предельных случая.

1. Расположение судна на базовой линии.
2. Расположение судна бесконечно далеко от станций.

В обоих случаях отношение погрешности определения основной ЛП к дополнительной равно 1. Следовательно, уменьшения погрешности определения ЛП не будет только в указанных случаях.

Определено количественное увеличение зон равной точности для дополнительных ЛП относительно основных. Максимальное увеличение получаем для зон с наименьшими значениями Γ . Для зон со значением $\Gamma=1$ в типовой цепочке увеличение площади составляет 14 раз. При этом перекрытие рабочей зоны цепочки зонами с малыми значениями Γ становится более равномерным.

Проведено сравнение точности определения места судна по основным и дополнительным ЛП методом моделирования наблюдений, предложенным профессором В.Т. Кондрашиным. Анализ полученных значений СКП места судна показывает более равномерное их распределение в рабочей зоне цепочки.

Для моделирования была выбрана цепочка РНС "Декка" 7В. Точки истинных мест судна были равномерно распределены в рабочей зоне цепочки, в различных зонах равной точности. В каждой точке производилось моделирование 100 наблюдений по 2

ЛП и 100 обсерваций по 6 ЛП. Отношение СКП мест судна при 2 и 6 ЛП составило от 1 для точек расположенных вблизи ведущей станции до 4 для точек вблизи ведомых.

Таким образом, применение дополнительных ЛП для определения места судна оправдано в любых случаях взаимного расположения судна и станций. При удалении судна от ведущей станции выигрыш в точности от использования дополнительных ЛП растёт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в диссертационной работе исследования обосновывают следующие научные результаты.

1. Предложенный метод позволяет получить дополнительные линии положения и за счет них повысить точность и надежность определения места судна.

2. Разработана программа построения навигационных изолиний низкочастотных РНС (основных и дополнительных), которая может быть использована в графических и видеопрокладчиках, а также при проведении исследовательских работ по размещению береговых станций новых цепочек.

3. Получено расположение точек пересечения нулевых гипербол, в которых существуют наилучшие условия измерения навигационных параметров. Это позволяет использовать их для определения поправок ПИ или расположения в них контрольных станций при дифференциальном использовании цепочки.

4. Разработан новый алгоритм определения места судна, который при использовании в ПИ позволяет обрабатывать всю предоставляемую низкочастотной РНС информацию для определе-

ния места судна.

5. Разработаны структурные схемы судовых ПИ, которые позволяют измерять дополнительные навигационные параметры и, следовательно, использовать дополнительные линии положения.

Выполненные исследования позволяют повысить точность и надежность определения места судна по низкочастотным РНС применением более совершенных алгоритмов и модернизацией ПИ. Каких-либо изменений в работе береговых станций при этом не требуется.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Метод получения дополнительных линий положения в низкочастотных радионавигационных системах // Деп. в ГНТБ Украины № 2002 - Ук93 18.10.93 ГАСНТИ 47.49.31 (В соавторстве).
2. Использование избыточности в радионавигационных системах // Деп. в ГНТБ Украины № 2201 - Ук94 25.11.94 ГАСНТИ 47.49.37 (В соавторстве).
3. Доработка приемоиндикаторов для увеличения избыточности низкочастотных радионавигационных систем: Информационный листок № 006 - 95/ОЦНТИЭИ. - Одесса, 1995. - 0.15 усл. печ. л.
4. Увеличение базовых углов в низкочастотных радионавигационных системах: Информационный листок № 009 - 95/ОЦНТИЭИ. - Одесса, 1995. - 0.25 усл. печ. л.

Філін Віктор Миколайович. Використання надлишків у низько-частотних радіонавігаційних системах. Дисертація на здобуття вченої ступені кандидата технічних наук по спеціальності 05.22.16 - "Судноводіння", Одеська держ. мор. академія, Одеса, 1996.

Виконана робота містить в собі результати досліджень методів підвищення точності та надійності визначення місця судна по низькочастотним радіонавігаційним системам. Запропонований метод дозволяє підвищити інформаційні надлишки у названих системах. Досліджена точність та надійність визначення місця судна по запропонованному методу. Здійснено втілення результатів в НДІ "Квант" та в учбовий процес в Одеської державної морської академії.

Filin Victor. Usage of supplement in the low frequency radio navigation systems. The Thesis on pursuing the degree -Ph.D in the speciality 05.22.16 Navigation. Odessa State Maritime Academy, 1996.

Accomplished work contains research results of methods improving the accuracy and reliability of determining vessel's position by low frequency radio navigation systems. The method permitting to improve the information supplement in the above mentioned systems has been proposed. The accuracy and reliability of determining the vessel's position by using this method have been explored. Application of results in the Scientific Research Institute "KVANT" and in the training courses of the maritime academy has been carried out.

Ключові слова: радіонавігація, радіонавігаційні системи, безпека мореплавання.

Зак.1338, тир.100, подп.к печ.10.08.96 г.
Усл.печ.лист 1.0 КМП ОИИМФ Одесса
ул.Мечникова, 34

48.30.094

