

УДК 005.961:656.6

DOI: 10.31653/2306-5761.27.2017.15-25

SENSIBILITY OF A SHIP'S ERGATIVE FUNCTION OF SHIP POSITION DETERMINATION**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СУДОВОЙ ЭРГАТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА**

V.O. Bobyr, *PhD, associate professor*, **O.O. Raynov**, *senior lecturer*
В.А. Бобыр, *к.т.н., доцент*, **А.О. Райнов**, *старший преподаватель*

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine
Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

ABSTRACT

The sensibility of a ship's ergative function of ship position determination is defined. A technique of evaluation of errors of latitude and longitude determination which depend on navigational parameter measurement error has been developed. Terms and conditions for reducing of a ship's ergative function of ship position determination entropy have been fixed under which: positioning accuracy where the vessel is located will be within the actual accuracy of the navigation parameter measurement; accuracy of measuring of navigation parameters will be maximal.

Key words: ship's ergative function, ship position determination, sensibility, entropy, measuring accuracy, navigational parameters, latitude and longitude.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Эффективность работы систем, предназначенных для определения места судна, оценивается на основе международных стандартов точности судовождения, введенными Резолюцией ИМО А.1046 (27) 2011 г.

Однако в этой Резолюции, во-первых, не установлена точность измерения навигационных параметров, обеспечивающая требуемую точность определения места судна. А во-вторых, не указано, что следует принимать за характеристику точности места - эллипс, круг, квадрат, прямоугольник или ромб погрешностей, или погрешности в определении широты и долготы. Такое положение препятствует эффективному контролю над «человеческим фактором» и дальнейшему совершенствованию приемов и методов определения места судна, как с помощью визуальных наблюдений оператором, так и с помощью автоматизированных радионавигационных систем.

При визуальных наблюдениях точность определения места судна напрямую зависит от действий оператора при измерении навигационного параметра, которые должны обеспечить требуемую точность его измерения.

В радионавигационных системах, например, используемых при динамическом позиционировании (СДП), точность определения места судна зависит от точности математической модели, заложенной в алгоритм

радионавигационной системы. А требуемая точность определения места судна с помощью СДП оценивается величиной 1 м.

В обоих случаях эта зависимость описывается чувствительностью судовой эргатической функции (СЭФ) определение места судна.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Современный научный подход к оценке точности определения места судна основан на определении площади вероятного нахождения истинных линий положения, которые описываются эллипсом или кругом погрешностей [1]. На наш взгляд при таком подходе:

1) не учитывается влияние места нахождения судна относительно наблюдаемого объекта, по которому измеряется навигационный параметр, а также и величина самого навигационного параметра на погрешность в определении, как широты, так и долготы места судна;

2) фигуры погрешностей не связаны с действиями оператора – его фактическими погрешностями при измерении навигационного параметра, поскольку характеристика точности определения места судна – эллипс погрешностей может быть построен и до начала наблюдений.

Первые шаги для устранения указанных недостатков в мировой практике судовождения уже сделаны.

Так, в стандарте STANAG 4278, принятом странами НАТО [2], при решении задач навигации за характеристику точности места судна приняты погрешности в раздельном определении широты и долготы.

Международной ассоциацией морских средств навигационного оборудования и маячных служб (МАМС) за критерий точности используемых в настоящее время средств и методов измерения навигационных параметров при определении места судна принята точность на расстоянии одной мили, а при оценке точности измерения пеленга рекомендуется также учитывать влияние широты места [3].

В работе [4] была сделана попытка привести показатели основных и резервных навигационных систем динамического позиционирования (СДП) к одинаковым единицам измерения - географическим координатам навигационных объектов и судна и относительным их положением - пеленгом и расстоянием между ними.

В работе [5] достаточно полно рассмотрены эргатические функции судовых эргатических систем в транспортном процессе на морском флоте, как взаимосвязь требований двух видов законов – экономических и естественных (законов природы). Это позволяет уменьшить энтропию (неопределенность) судовой эргатической функции определение места судна при известной зависимости между погрешностями оператора при измерении навигационного параметра и характеристикой точности раздельного определения координат места судна – широты и долготы.

Формулирование целей статьи и постановка задачи

Цель статьи – определить судовые эргатические функции определение места судна, связывающие действия оператора по измерению навигационного параметра с результатом его действий – точностью определения, как широты, так и долготы места судна.

Задача статьи – определить чувствительность судовых эргатических функций определения места судна по измерениям расстояния до объекта, пеленга на объект, высоты небесного светила и его азимута.

Изложение материала исследования

Эргатическая функция - это любое изменение энтропии связи элементов внутри эргатической системы и ее связей с внешней средой, рассматриваемыми с точки зрения производственных целей и задач. В данном случае – с точки зрения требований к точности определения широты и долготы места судна.

Выражение, описывающее судовую эргатическую функцию определение одной координаты места судна K по одному измеряемому параметру, можно представить в общем виде, как:

$$K = f(q), \quad (1)$$

где $f(q)$ – аналитическое описание судовой эргатической функции определение места судна; q – показатель навигационного параметра.

После дифференцирования (1) по K и q перехода к конечным приращениям получаем выражение, характеризующее взаимодействие элементов судовой эргатической функции определение места судна:

$$\Delta K = f'(q)\Delta q, \quad (2)$$

где ΔK – приращение координаты места судна; $f'(q)$ - производная судовой эргатической функции; Δq – приращение показателя навигационного параметра, как результат взаимодействия оператора с наблюдаемым объектом, которое направлено на уменьшение энтропии.

Судовую эргатическую функцию определение координат места судна по измеренному расстоянию до объекта в прямоугольной системе координат на поверхности Земли можно представить как уравнение окружности проходящей через точку с искомыми координатами судна:

$$(\varphi - \varphi_0)^2 + (\lambda - \lambda_0)^2 = d^2, \quad (3)$$

где φ и λ – широта и долгота места судна; φ_0 и λ_0 – широта и долгота наблюдаемого объекта, до которого измерено расстояние d .

На основе (2) после дифференцирования (3) по φ и d , преобразований и перехода к конечным приращениям получаем:

$$\Delta\varphi_d = d(\varphi - \varphi_0)^{-1} \Delta d, \quad (4)$$

где $\Delta\varphi_d$ – изменение широты места при изменении измеряемого расстояния на величину Δd .

После дифференцирования (3) по λ и d , преобразований и перехода к конечным приращениям получаем:

$$\Delta\lambda_d = d(\lambda - \lambda_0)^{-1} \Delta d, \quad (5)$$

где $\Delta\lambda_d$ – изменение долготы места при изменении измеряемого расстояния на величину Δd .

Судовую эргатическую функцию определение координат места судна по измеренному пеленгу на объект в прямоугольной системе координат на плоскости можно представить, как уравнение прямой, проходящей через точку с искомыми координатами судна и место объекта, на который взят пеленг:

$$\varphi - \varphi_0 = \operatorname{tg} \alpha \cdot (\lambda - \lambda_0), \quad (6)$$

где α – угол между направлением на объект и осью абсцисс.

По аналогии с действиями при получении формул (4) и (5) после дифференцирования (6) по φ , λ и α , преобразований и перехода к конечным приращениям получаем:

$$\Delta\varphi_\alpha = \sec^2 \alpha \cdot (\lambda - \lambda_0) \cdot \Delta\alpha, \quad (7)$$

$$\Delta\lambda_\alpha = -\operatorname{cosec}^2 \alpha \cdot (\varphi - \varphi_0) \cdot \Delta\alpha, \quad (8)$$

где $\Delta\varphi_\alpha$ и $\Delta\lambda_\alpha$ – изменения широты и долготы места судна при изменении измеряемого пеленга на величину $\Delta\alpha$.

Таким образом, формулы (4), (5), (7) и (8) демонстрируют очевидную зависимость изменений в определяемых широте и долготе места судна по измеренным расстояниям до объекта или пеленга на него не только от изменений в расстоянии или пеленге, но и от координат судна и наблюдаемого объекта.

Формулы (7) и (8) приемлемы при использовании карт с прямоугольной системой координат, у которой масштабы по оси абсцисс и ординат одинаковы. Например, такой является универсальная поперечная меркаторская система координат (Universal Transverse Mercator System) применяемая в системах динамического позиционирования. И конечно, в этом случае необходимо перевести углы в радианы, а мили в метры.

На судах прокладка измеренных расстояний до объекта и пеленгов на него ведется на морских путевых картах меркаторской проекции, на которой масштабы координатных осей зависят от широты места. Из этого следует, что:

$$\varphi - \varphi_0 = d \cdot \cos \alpha, \quad (9)$$

$$\lambda - \lambda_0 = d \cdot \sin \alpha \cdot \sec \varphi_{cp}, \quad (10)$$

где $\varphi_{cp} = (\varphi - \varphi_0)/2$ – средняя широта, как полусумма широт места судна и наблюдаемого объекта.

Подставим формулы (9) и (10) в формулы (4), (5), (7) и (8). С учетом перевода угла в радианы получаем выражения для расчета чувствительности в определяемых широте и долготе места судна в зависимости от приращений в измерении расстояний до объекта и пеленгов на него, места нахождения судна относительно наблюдаемого объекта и величины измеренного пеленга и расстояния до объекта при использовании морских путевых карт:

$$\Delta\varphi_d = \sec \alpha \cdot \Delta d, \quad (11)$$

$$\Delta\lambda_d = \cos\varphi_{cp} \cdot \cos ec\alpha \cdot \Delta d, \quad (12)$$

$$\Delta\varphi_\alpha = 0,017 \cdot tg\alpha \cdot \sec\alpha \cdot \sec\varphi_{cp} \cdot d \cdot \Delta\alpha, \quad (13)$$

$$\Delta\lambda_\alpha = -0,017 \cdot ctg\alpha \cdot \cos ec\alpha \cdot d \cdot \Delta\alpha, \quad (14)$$

Анализ формул (11) – (14) показывает, что даже незначительное изменение в Δd или $\Delta\alpha$ при определенных условиях может привести к многократному увеличению $\Delta\varphi_d$ и $\Delta\lambda_d$ или $\Delta\varphi_\alpha$ и $\Delta\lambda_\alpha$. Например, при значениях α близких к девяносто градусам незначительная величина $\Delta\alpha$ приведет к тысячекратному увеличению $\Delta\varphi_\alpha$.

Судовую эргатическую функцию определение координат места судна по измеренной высоте небесного светила можно представить, как уравнение сферической окружности, проходящей через точку с искомыми координатами судна:

$$\sinh = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos(t_{cp} + \lambda), \quad (15)$$

где h – измеренная высота светила; δ и t_{cp} – склонение и гринвичский часовой угол светила, которые являются географическими координатами светила на карте – его полюса освещенности: географическая широта полюса освещенности равна склонению светила δ , а географическая долгота полюса освещенности – гринвичскому часовому углу светила t_{cp} .

Судовую эргатическую функцию определение координат места судна по измеренному азимуту небесного светила можно представить, как уравнение изоазимуты, проходящей через точку с искомыми координатами судна:

$$ctgA = \cos\varphi \cdot tg\delta \cdot \cos ec(t_{cp} + \lambda) - \sin\varphi \cdot ctg(t_{cp} + \lambda), \quad (16)$$

где A – измеренный азимут светила.

После дифференцирования (15) по h и φ , и по h и λ , а (16) по A и φ , и по A и λ , преобразований и перехода к конечным приращениям получаем выражения для расчета чувствительности в определяемой широте и долготе места судна в зависимости от приращений в измеряемой высоте и азимуте светила, величины измеренной высоты и азимута светила, координат места судна и координат выбранного для наблюдений светила:

$$\Delta\varphi_h = \cosh \cdot (\cos\varphi \cdot \sin\delta - \sin\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos t_m)^{-1} \cdot \Delta h, \quad (17)$$

$$\Delta\lambda_h = -\cosh \cdot (\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin t_m)^{-1} \cdot \Delta h, \quad (18)$$

$$\Delta\varphi_A = [\sin^2 A \cdot (\sin\varphi \cdot tg\delta \cdot \cos ec t_m + \cos\varphi \cdot ctgt_m)]^{-1} \cdot \Delta A, \quad (19)$$

$$\Delta\lambda_A = \sin^2 t_m \cdot [\sin^2 A (\cos\varphi \cdot tg\delta \cdot \cos t_m - \sin\varphi)]^{-1} \cdot \Delta A, \quad (20)$$

Где $t_m = t_{cp} + \lambda$ – местный часовой угол светила; $\Delta\varphi_h$ и $\Delta\varphi_A$ – изменения широты места судна при изменении измеряемой высоты и азимута светила на величины Δh и ΔA ; $\Delta\lambda_h$ и $\Delta\lambda_A$ – изменения долготы места судна при изменении измеряемой высоты и азимута светила на величины Δh и ΔA .

Формулы (17) - (20) также наглядно демонстрируют очевидную зависимость изменений в определяемых широте и долготе места судна по измерениям высот и азимутов светил, как от изменений в высоте и азимуте

светил, так и от географических координат судна и светила на поверхности Земли. Анализ этих формул показывает, что даже незначительное изменение в Δh или ΔA при определенных условиях может привести к многократному увеличению $\Delta \varphi_h$ и $\Delta \lambda_h$ или $\Delta \varphi_A$ и $\Delta \lambda_A$.

Для оценки точности определения широты и долготы места судна необходимо перейти к погрешностям измерений.

Выражение для стохастической модели погрешности реализации судовой эргатической функции определение места судна по уменьшению ее энтропии в общем виде получим из (2) на основе [4]:

$$\Delta K = \varphi'(q)(m + t\sigma), \quad (21)$$

где m и σ – математическое ожидание и стандартное отклонение погрешности измерений навигационного параметра; число t , которое зависит от закона распределения случайной величины - погрешности измерений навигационного параметра и заданной вероятности. В данном случае второй множитель правой части (21) является характеристикой действий оператора по уменьшению энтропии судовой эргатической функции определение места судна.

В практике судовождения в настоящее время при определении места судна получить оценки величин m и σ на основе статистического ряда наблюдений, а значит тем самым уменьшить энтропию (неопределенность), возможности нет.

За оценку математического ожидания обычно принимают стандартные отклонения погрешностей измерений поправок к измеренному навигационному параметру – поправки компаса, поправки индекса секстана и т.д., которые периодически определяются оператором на судне.

Резолюцией ИМО А.1046 (27) установлена точность определения места судна с вероятностью 0,95. Этой вероятности в формуле (21) соответствует число $t \approx 2$.

Оценки стандартного отклонения измерения навигационного параметра получают по данным из навигационных пособий, справочников, руководств компании по навигации и т.п.

Таким образом, на практике фактическая точность измерения навигационных параметров в каждом случае наблюдений остается неопределенной. Поэтому такой же неопределенной остается и точность определения места судна. Ее оценка зависит, главным образом, от того, из какого справочника получены данные об оценках погрешностей измерения навигационных параметров.

В работе [4] показано, что избавиться от оценок точности, основанных на статистических наблюдениях, можно, воспользовавшись выражением для чувствительности судовой эргатической функции, как ее технологической возможности обеспечить уменьшение энтропии в соответствии с регламентирующими требованиями к допустимому изменению показателя ΔK с помощью данного прибора измерений навигационного параметра:

$$\Delta K = \varphi'(q) \cdot [0,01k \cdot (\psi_{max} - \psi_{min}) + 1,208c], \quad (22)$$

где k - класс точности прибора для измерений навигационного параметра, представляющий собой наибольшую систематическую приведенную

относительную погрешность измерений данным прибором; ψ_{max} и ψ_{min} – значения верхнего и нижнего пределов рабочей части шкалы прибора; c – цена деления шкалы измерительного прибора, как характеристика стандартной погрешности измерений этим прибором с вероятностью 0,9973.

Таким образом, с помощью класса точности прибора измерения навигационного параметра можно нормировать энтропию судовой эргатической функции определение места судна, то есть, уменьшить неопределенность этой функции.

К сожалению, в настоящее время класс точности для приборов измерения навигационных параметров – пеленгаторов, радиолокаторов, секстанов и т.п. не установлен.

Тем не менее, полученные нами выражения для определения чувствительности судовых эргатических функций определения места судна по измерениям навигационных параметров позволяют установить условия для уменьшения энтропии (неопределенности), при которых:

1) точность определения координат места судна будет находиться в пределах фактической точности измерения навигационного параметра;

2) точность измерения навигационных параметров будет максимальной.

Для решения первой задачи ограничимся рассмотрением измерений пеленгов. После преобразований из (13) и (14) получим выражения для определения условий, при которых погрешности в определении широты и долготы места будут равны погрешностям в измерении пеленга, выраженной в одинаковых с широтой или долготой единицах:

$$ctg\alpha \cdot \cos\alpha \geq d \cdot \sec\varphi_{cp}, \quad (23)$$

$$tg\alpha \cdot \sin\alpha \geq -d. \quad (24)$$

По формуле (23) оценим величины пеленгов для значений φ_{cp} равных 0° , 45° и 80° , принимая $d=10$ миль, при которых погрешность в определении широты места $\Delta\varphi_\alpha$ будет равна погрешности в измерении пеленга. Множитель в правой части (23) будет изменяться в диапазоне от 10 до 57,6. Это соответствует величинам α от 1° до 6° и соответственно величинам пеленгов - от 84° до 106° и от 264° до 275° .

Оценки пеленгов, полученные по формуле (24) для расстояния до пеленгуемого объекта $d=10$ миль, показывают, что погрешность в определении долготы места $\Delta\lambda_\alpha$ будет равна погрешности в измерении пеленга при его значениях в диапазоне от 355° до 005° и от 175° до 185° .

С уменьшением расстояния до пеленгуемого объекта, например, при $d=1$ мили диапазоны пеленгов увеличиваются до 45° .

Таким образом, для уменьшения влияния погрешностей в измеряемом пеленге на определяемую широту места необходимо пеленговать объекты, пеленга на которые близки к направлению $E - W$. А для определяемой долготы места - объекты, пеленга которых близки к направлению $N - S$.

Выбор объектов для пеленгования зависит от того, какую координату в данных условиях необходимо знать точнее – широту или долготу. Если возможностей в таком выборе нет, то по формулам (11) – (14) можно оценить

влияние погрешностей в измеряемом навигационном параметре на погрешности в определяемых широте и долготе места судна.

Вопрос уменьшения или сведения до пренебрежимо малой величины влияние точности измерения навигационных параметров на точность определения координат места судна рассмотрим на примере определения места судна по измеренным высотам светил. Для этого проанализируем выражения (17) и (18) на максимум-минимум по упрощенной схеме без дифференцирования этих выражений.

В формуле (17) величина $\Delta\varphi_h$ может достигнуть минимума при достижении числителем правой части этой формулы минимума, а знаменателем - максимума. Учитывая, что широта места не выбирается, условие достижения минимума $\Delta\varphi_h$ можно записать так:

$$\cosh \rightarrow \min, ; \quad (25)$$

$$\cos \delta \cdot \cos t_m \rightarrow \max. \quad (26)$$

Из анализа формул (25) и (26) следует вывод о том, что для сведения погрешности в определяемой широте места судна до пренебрежимо малой величины или уменьшения влияния на нее погрешности в измеряемой высоте для наблюдений необходимо подбирать светила с большей высотой, малым склонением, расположенные вблизи меридиана наблюдателя.

Величина $\Delta\lambda_h$ в формуле (18) может достигнуть минимума при достижении числителем правой части этой формулы минимума, а знаменателем - максимума. Учитывая, что долгота места также не выбирается, условие достижения минимума $\Delta\lambda_h$ можно записать так:

$$\sinh \rightarrow \min, \quad (27)$$

$$\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin t_m \rightarrow \max. \quad (28)$$

Вывод, который можно сделать из анализа формул (27) и (28), говорит о том, что для сведения погрешности в определяемой долготе места судна до пренебрежимо малой величины или уменьшения влияния на нее погрешности в измеряемой высоте для наблюдений необходимо подбирать светила с малой высотой, малым склонением, расположенные вблизи первого вертикала.

Уравнения (23) – (28) могут служить основой для разработки методов уменьшения энтропии (неопределенности) судовой эргатической функции определение места судна.

Для количественной оценки влияния погрешностей в измеряемом навигационном параметре на погрешности в определяемых широте и долготе места судна рассмотрим примеры расчетов чувствительности судовой эргатической функции определение места судна по формулам (11) – (14), (17) и (18).

Пример 1. При навигационной проработке перехода от выбранного объекта был проложен ограждающий пеленг в 2 милях от опасности. Направление пеленга 13° , $\alpha = 90^\circ - 13^\circ = 77^\circ$. Расстояние между пеленгуемым объектом и опасностью – 15 миль. Определим чувствительность пеленга по широте $\Delta\varphi_\alpha$ и по долготе $\Delta\lambda_\alpha$, если стандартная погрешность в измеряемом пеленге $\Delta\alpha = 0,5^\circ$.

С учетом (21), перевода градусов в радианы и для значений $tg77^\circ=4,33$; $sec77^\circ=4,44$; $Sec15'=1,00$; $ctg77^\circ=0,23$ и $cosec77^\circ=1,02$ с вероятностью 0,95 по формулам (13) и (14) получаем $\Delta\varphi_\alpha = 2,45$ мили и $\Delta\lambda_\alpha = 0,03$ мили. Это значит, что судно будет находиться на траверзе опасности в прямоугольнике со сторонами 2,45 мили по широте (вертикали) и 0,03 мили по долготе (горизонтали).

Таким образом, данные расчетов говорят о том, что этот ограждающий пеленг с вероятностью 0,95 не обеспечит прохождение опасности на расстоянии не менее 2 мили.

Пример 2. В точке со счислимыми координатами $\varphi = 31,3N$ и $\lambda = 149,3W$ для определения места судна были подобраны звезды - Сириус $h = 42^\circ$ с координатами полюса освещенности $\delta = 16,7^\circ S$ и $t_m = 03,6^\circ W$ и Регул $h = 43,3^\circ$ с координатами $\delta = 12,1^\circ N$ и $t_m = 46,3^\circ E$. Разность азимутов между светилами – 81° . За погрешность в определении высот светил принято стандартное отклонение равное $0,6'$ одинаковое для обоих измерений. Определим чувствительность каждой высотной линии положения по широте $\Delta\varphi_h$ и по долготе $\Delta\lambda_h$.

С учетом (21) с вероятностью 0,95 для значений $cos42^\circ=0,743$; $sin42^\circ=0,669$; $cos43,3^\circ=0,728$; $sin43,3^\circ=0,686$; $cos31,3^\circ=0,854$; $sin31,3^\circ=0,52$; $cos12,1^\circ=0,978$; $sin12,1^\circ=0,209$; $sin46,3^\circ=0,723$; $cos46,3^\circ=0,691$; $cos16,7^\circ=0,958$; $sin16,7^\circ=0,287$; $cos03,6^\circ=0,998$; $sin03,6^\circ=0,063$ по формулам (17) и (18) получаем, что для изолинии по Сириусу $\Delta\varphi_h = -1,7$ мили и $\Delta\lambda_h = -8,6$ мили, а для Регула $\Delta\varphi_h = -2,5$ мили и $\Delta\lambda_h = -3,4$ миль.

Из расчетов следует, что определять место судна по измерениям высоты Сириуса в данных условиях нельзя, так как погрешность в его измеряемой высоте в $0,6'$ приведет к многократному ее увеличению в погрешности в определяемой долготе места и составит 8,6 миль. Поэтому для наблюдений необходимо подобрать другую звезду.

Важно отметить, что полученные выше результаты не соответствуют положениям существующей теории ошибок [1].

Так, в примере 1 рассчитанная по существующей методике [6] оценка точности смещения линии положения – пеленга на маяк, находящегося на расстоянии 15 миль, с вероятностью 0,95 определена, как 0,1 мили против $\Delta\varphi_\alpha = 2,45$ мили, рассчитанной по формуле (13). То есть, расхождение в оценке точности на порядок.

Исходные данные примера 2 взяты из работы [7], в которой приведены результаты и оценка точности определения места судна по измеренным высотам Сириуса и Регула. Эта оценка по линии положения Сириуса с вероятностью 0,95 определена, как 1,5 или против $\Delta\lambda_h=8,6$ миль, рассчитанной по формуле (18). Таким образом, расхождение в оценке точности определения места судна снова на порядок.

Тот факт, что использование такого точного измерительного инструмента, как секстан, цена деления шкалы измерения угла у которого равна $0,2'$, всякий раз приводит к погрешности в определении места судна по измеренным

высотам на порядок больше этой цены деления, также ставит под сомнение правильность современной теории ошибок.

Выводы и перспектива работы по данному направлению

Таким образом, чувствительность судовой эргатической функции определение места судна определена, что позволило разработать методику оценки погрешностей определения координат места судна – широты и долготы в зависимости от погрешности в измеряемом навигационном параметре. Это, в свою очередь, дает возможность решить целый ряд теоретических и практических задач, направленных на повышение точности определения координат места – широты и долготы морских судов, самолетов и космических кораблей. К таким задачам относятся:

1. Нормирование энтропии судовой эргатической функции определения места судна на основе установления классов точности приборов измерения навигационных параметров.

2. Оценка точности координат места судна, определяемых с помощью измерения различных навигационных параметров таких, как разность высот, сумма высот, разность азимутов, скорость изменения высоты, скорость изменения азимута и т.п. на морских судах, самолетах и космических кораблях.

3. Разработка рекомендаций по выбору условий, способствующих повышению точности определения места судна по измерениям навигационных параметров.

4. Уточнение математической модели систем динамического позиционирования (СДП) для решения задач по:

- 1) повышению точности определения места судна с помощью СДП;
- 2) планированию размещения приемо-передатчиков СДП на береговых объектах и на морском дне;
- 3) выбору спутников в GPS;
- 4) определению допустимых погрешностей при измерении расстояний и направлений в СДП.

5. Планирование размещения средств навигационного ограждения на подходах к побережью, в узкостях и подходах к портам.

6. Разработка компьютерной программы для расчетов погрешностей в определении широты и долготы места судна для навигационной проработки перехода, включая подбор навигационных объектов и светил для определения координат места судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
2. Standardization within NATO on the Methods of Expressing Navigational Accuracies. - Journal of Navigation / Volume 44 / Issue January, 01st 1991, The Royal Institute of Navigation, London. - 1991 - p.p. 133-139.

3. Руководство по навигационному оборудованию. МАМС. – Международная ассоциация морских средств навигационного оборудования и маячных служб (МАМС). - Сен-Жермен: 2006. – 190 с.
4. Бобыр В.А. Избыточность в системах динамического позиционирования / Бобыр В.А., Мусаев М.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 24. – Одесса: «ИздатИнформ», 2014. - С.15-25.
5. Бобыр В.А. Судовые эргатические функции: монография / Бобыр В.А. – К.: Кафедра, 2014. – 362 с.
6. Мизерницкий А.И. Навигация / Мизерницкий А.И. – М.: Издательство «Морской транспорт», 1963. – 527 с.
7. Черниев Л.Ф. Задачник по мореходной астрономии / Черниев Л.Ф., Лукин М.Г., Кондрашихин В.Т., Кирич Ю.П., Синяев В.А. – М.: Транспорт, 1977. – 288 с.
8. Красавцев Б.И. Мореходная астрономия: Учебник для вузов / Красавцев Б.И. – М.: Транспорт, 1986. – 255 с.
9. Бобир В.О. Напрямки фундаментальних досліджень астрономічного визначення місця / Бобир В.О. // Водний транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту ім. гетьмана П.Конашевича-Сагайдачного. – К.: КДАВТ, 2014. - №3(21). – С.36-44.