6. *Zakharov S.M., Galustov G.G.* Mikroprotsessornyy modul' predvaritel'noy obrabotki medikobiologicheskikh signalov [Microprocessor module pretreatment biomedical signals], *Voprosy radioelektroniki* [Questions electronics], 1988, Issue 2, pp. 187-197.
7. *Galustov G.G.* Klassifikator sluchaynykh signalov [Qualifier casual signals], *Izvestiya SKNTs VSh. Tekhnicheskie nauki* [News SKNTS VS. Engineering], 1984, No. 3, pp. 54-57.
8. *Gladkiy V.S.* Veroyatnostnye vychislitel'nye modeli [Probabilistic computational models]. Moscow: Nauka, 1973, 298 p.
9. *Kiselev N.V., Sechkin V.A., Stavitskiy A.I.* Postroenie optimal'noy razdelyayushchey ploskosti v zadache raspoznavaniya obrazov [Construction of an optimal dividing plane in the problem of pattern recognition], *Avtomatizatsiya proizvodstva* [Manufacture automation], 1974, Issue 1, pp. 72-77.
10. *Gorelik A.L., Skripkin V.A.* Metody raspoznavaniya: ucheb. posobie dlya vuzov [Recognition methods: the manual for high schools], 4th ed. Moscow: Vysshaya shkola, 2004, 261 p.
11. *Tu Dzh., Gonsales R.* Printsipy raspoznavaniya obrazov [Principles of pattern recognition]. Moscow: Mir, 1978, 411 p.
12. *Fukunaga K.* Vvedenie v statisticheskuyu teoriyu raspoznavaniya obrazov [Introduction to statistical pattern recognition theory]. Moscow: Nauka, 1979, 367 p.
13. *Galustov G.G.* Modelirovanie sluchaynykh protsessov i otsenivanie ikh statisticheskikh kharakteristik [Modelling of casual processes and estimation of their statistical characteristics]. Moscow: Radio i svyaz', 1999, 120 p.
14. *Omel'chenko V.A.* Raspoznavanie signalov po spektru v usloviyakh apriornoy neopredelennosti [Recognition of signals on a spectrum in the conditions of aprioristic indeterminacy]. Khar'kov: KhPI, 1979, 100 p.
15. *Galustov G.G., Tsymbal V.G., Mikhalev M.V.* Prinyatie resheniy v usloviyakh neopredelen-nosti [Decision-making in the conditions indeterminacy]. Moscow: Radio i svyaz', 2001, 196 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.А. Безуглов.

**Галустов Геннадий Григорьевич** – Южный федеральный университет; e-mail: g.galustov@ya.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +79045011525; кафедра радиоприемных устройств и телевидения; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

**Завтур Евгений Евгеньевич** – e-mail: zavtur90@mail.ru; тел.: +79034722885; кафедра радиоприемных устройств и телевидения; аспирант.

**Galustov Gennady Grigorevich** – Southern Federal University; e-mail: g.galustov@ya.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79045011525; the department of the radio-receiving devices and TV; head the department; dr. of eng. sc.; professor.

**Zavtur Evgeny Evgenevich** – e-mail: zavtur90@mail.ru; phone: +79034722885; the department of the radio-receiving devices and TV; the postgraduate student.

УДК 656.61.052

**И.С. Гарматенко**

# МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОГРЕШНОСТЕЙ КООРДИНАТ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОЗИЦИИ ПРИ СОВМЕСТНОМ МАНЕВРИРОВАНИИ КОРАБЛЕЙ

*Рассматриваются спутниковые навигационные системы (СНС), являющиеся основным средством для обеспечения навигационной безопасности плавания. Использование автоматической идентификационной системы (АИС) на основе работы СНС в режиме высокой точности (дифференциальном режиме) позволяет определить относительную позицию, параметры движения искомых объектов с высокой точностью и обеспечить совместное маневрирование кораблей. Данное преимущество АИС используется для оценки опасности*

*от столкновения. Определение относительной позиции и параметров движения с использованием АИС при работе СНС в стандартном режиме характеризуется значительной случайной погрешностью и не позволяет обеспечить решение задач совместного маневрирования. Повышение точности определения относительной позиции с использованием АИС по СНС в стандартном режиме может быть обеспечено централизованными измерениями на совместно маневрирующих кораблях на один момент времени по единому созвездию навигационных спутников определенной СНС, чем достигается корреляционная зависимость погрешностей координат, близкая к 1. Современные приемоиндикаторы позволяют осуществлять измерения по заданному оператором созвездию спутников СНС. Производство измерений по созвездию из 3–4 спутников обеспечивает определение координат в течение продолжительного промежутка времени (от 3 до 8 часов в зависимости от широты места наблюдателя) на дистанции между совместно маневрирующими кораблями до 50 км. Производство централизованных измерений при определении относительной позиции может позволить обеспечить использование АИС вне зависимости от возможности использования СНС в дифференциальном режиме. Данное преимущество может быть реализовано в оценке опасности столкновения. Целью данной работы является: – оценить влияние корреляционной зависимости погрешностей координат совместно маневрирующих кораблей, определяемых с использованием СНС на точность определения относительной позиции; – оценить возможность повышения точности определения относительной позиции совместно маневрирующих кораблей с использованием АИС при централизованном определении координат по единому созвездию СНС, исходя из обеспечиваемой АИС дискретности выработки динамической информации о координатах и параметрах движения совместно маневрирующих кораблей. Цель работы достигается разработкой модели оценки влияния корреляционной зависимости погрешностей координат на точность определения относительной позиции при совместном маневрировании кораблей. Оценка полученных результатов показала возможность значительного определения относительной позиции с использованием АИС по СНС в стандартном режиме.*

*Корреляционная зависимость; погрешности координат; относительная позиция; совместное маневрирование; АИС.*

**I.S. Garmatenko**

## MODEL ASSESSMENT OF THE CORRELATION INFLUENCE COORDINATES ERROR ON THE ACCURACY OF DETERMINING RELATIVE POSITION WITH THE JOINT SHIPS MANEUVERING

*Global positioning systems (GPS) are the main means to ensure navigational safety of navigation. Using the AIS (automatic information system) on the basis of GPS in high – accuracy mode (differential mode) allows determining the relative position, parameters motion of objects with high precision to ensure joint maneuvering ship. This advantage AIS is used for assessing the risk of collision. Determining the relative position and movement parameters using AIS when working in standard mode, GPS characterizes the random error and does not provide applying for joint maneuvering. Increasing the accuracy of relative position of GPS using AIS in standard mode can be provided with centralized measurement of coordinates maneuvering vessels on time, on the same Constellation of navigation satellites specific GPS. Then the error correlation coordinate strive to 1. Modern receivers and indicators help to determine the coordinates set by the operator from the constellation of GPS satellites. Production of measurements on the Constellation 3–4 satellites provides the definition of coordinates for a long period of time (from 3 to 8 hours, depending on the latitude location of the observer) on the distance between the joint maneuvering ships of up to 50 km. The Centralized production of measurements of the relative position can afford to provide AIS regardless of ability to use GPS in differential mode. This advantage can be realized when assessing the risk of collision. The aim of this work is: – to evaluate the impact correlation of errors coordination and joint maneuvering the ships, which are determined using GPS accuracy of determining the relative positions; – to evaluate the possibility of increasing the accuracy determining the relative position together maneuvering vessels with the use of AIS*

*in the centralized determination coordinates on one of the GPS constellation, according to provide AIS resolution to produce dynamic information about the location and movement parameters together maneuvering ship. The purpose of the work is achieved through the development of model evaluation correlation errors definition coordinates the accuracy relative position of joint maneuvering ship.*

*Correlation; dependence coordinates error; relative position; joint maneuvering; AIS.*

Использование АИС для предупреждения столкновений кораблей в качестве оборудования, дополняющего радиолокационную станцию (РЛС), стало возможным благодаря автоматизации обмена информацией между судами и кораблями о координатах и параметрах движения оцениваемых объектов, выработанных с использованием спутниковых навигационных систем (СНС) ГЛОНАСС или GPS NAVSTAR, и позволило в значительной степени повысить точность расчета параметров сближения [1, 3, 5].

В большинстве работ [3, 5, 10] использование АИС для оценки опасности столкновения оценивалось по работе СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR в дифференциальном режиме (погрешности определения местоположения 5–10 м [2]), когда фактические поправки на условия распространения радиоволн определяются в специально оборудованной точке и используются в реальном масштабе времени на кораблях, находящихся в зоне действия этих поправок [2].

Реализация дифференциального режима навигационных определений возможна при приеме и обработке сигналов спутниковой радионавигационной системы в двух разнесенных точках ее рабочей зоны:

- точке нахождения определяющего координаты корабля;
- точке расположения береговой аппаратуры, обеспечивающей формирование корректирующей информации для уточнения координат определяющегося корабля.

Основное использование СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR характеризуется работой в стандартном режиме (погрешности определения местоположения 40 м [2]) и обеспечивается с учетом:

- тропосферной поправкой (рассчитывается по модели в зависимости от текущей угловой высоты спутника для параметров стандартной атмосферы);
- ионосферной поправкой (рассчитывается по модели, для которой используются параметры, передаваемые в составе навигационного сообщения).

Оценить характер погрешностей СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR позволили исследования, проводимые во время опытной и штатной эксплуатации в различных районах Мирового океана. В результате обработки статистических данных были получены нормированные временные автокорреляционные функции (АКФ) погрешностей навигационных параметров (НП) [7], которые используем для оценки влияние корреляционной зависимости погрешностей определения координат с использованием СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR на точность определения относительной позиции при совместном маневрировании кораблей.

Для упрощения расчетов введем прямоугольную систему координат $0XY$, начало которой совпадает с местом объекта маневра (уравнителя) М с координатами ($X_0$=0, $Y_0$=0), $0Y$ имеет направление на восток, а $0X$ на север. Маневрирующий корабль К имеет координаты ($X_1$, $Y_1$), назначенная маневрирующему кораблю К позиция относительно объекта маневра (уравнителя) М имеет координаты ($X_Н$, $Y_Н$). Координаты объекта маневра (уравнителя) М, маневрирующего корабля К, известны с точностями, равными ожидаемым РСКП объекта маневра (уравнителя) М – $М_М$ и маневрирующего корабля К – $М_К$ соответственно (рис. 1).

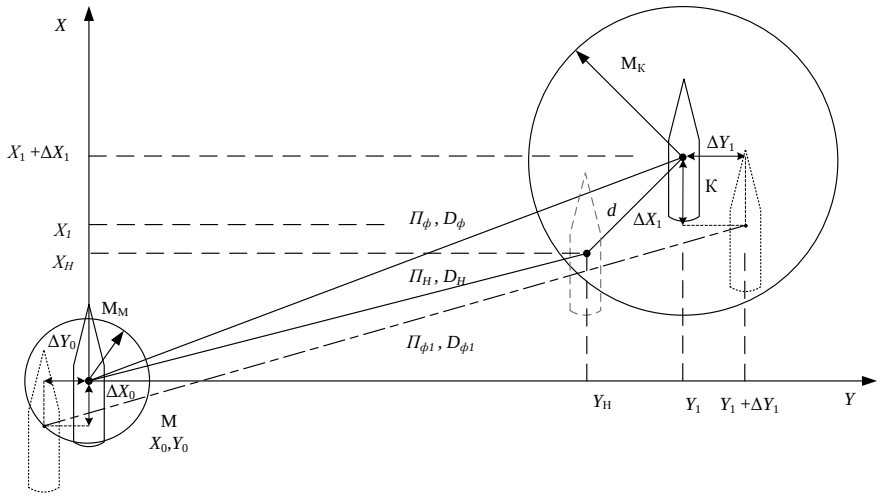


*Рис. 1. Позиции совместно маневрирующих кораблей, определяемые случайными погрешностями координат*

Расчет элементов относительной позиции ($П_Ф$ и $D_Ф$) с учетом случайных погрешностей координат маневрирующего корабля К, корреляционно зависимых с случайными погрешностями координат объекта маневра (уравнителя) М, основан на теореме предсказания [9], в соответствии с которой можно предсказать значение случайной величины $x(t+\tau)$ в момент времени $(t+\tau)$, если известны ее текущее значение $x(t)$, автокорреляционная функция $\rho_x(\tau)$ и вспомогательная случайная величина $y(t)$, некоррелированная с $x(t)$, с нулевым математическим ожиданием и со СКО σ равным СКО случайной величины $x(t)$ $\sigma x$, т.е.:

$$x(t+\tau) = \rho_x(\tau) \cdot x(t) + \sqrt{1-\rho_x^2(\tau)} \cdot y(t). \quad (1)$$

Следовательно, на один и тот же момент времени можно предсказать значение случайной величины $\Delta X_1$, если известно значение другой случайной величины $\Delta X_0$, коэффициент корреляции между ними $r_1$ и значение вспомогательной случайной величины $\Delta X_{П1}$, некоррелированной с $\Delta X_1$ [9]:

$$\Delta X_1 = r_1 \cdot \Delta X_0 + \sqrt{1-r_1^2} \cdot \Delta X_{П1}. \quad (2)$$

Для получения корреляционно зависимых случайных погрешностей координат маневрирующего корабля К и объекта маневра (уравнителя) М рассчитываются коэффициенты:

$$a_1 = \sigma_1 \sqrt{1-r_1^2}; \quad (3)$$

$$b_1 = r_1, \quad (4)$$

где $\sigma_1$ – СКО случайной погрешности координат маневрирующего корабля К; $r_1$ – коэффициент корреляции случайных погрешностей координат маневрирующего корабля К и объекта маневра (уравнителя) М.

Случайные погрешности координат маневрирующего корабля К, корреляционно зависимые с случайными погрешностями координат объекта маневра (уравнителя) М будут определяться:

$$\Delta X_1 = \Delta X_0 \cdot b_1 + \Delta X_{П1} \cdot a_1; \quad (5)$$

$$\Delta Y_1 = \Delta Y_0 \cdot b_1 + \Delta Y_{П1} \cdot a_1, \quad (6)$$

где $\Delta X_{ї\,1}$, $\Delta Y_{ї\,1}$ – вспомогательные случайные величины, некоррелированные со случайными погрешностями координат объекта маневра (уравнителя) М $\Delta X_0$, $\Delta Y_0$ и распределенные по нормальному закону, с математическим ожиданием равным нулю и со СКО, соответствующим РСКП места маневрирующего корабля К.

Для математического описания задачи приняты следующие допущения:

а) случайные погрешности координат совместно маневрирующих кораблей подчиняются нормальному закону распределения;

в) движение совместно маневрирующих кораблей осуществляется с равными значениями скорости и одинаковыми курсами, влияние ГМУ не учитывается;

г) смещение относительной позиции маневрирующего корабля М и объекта маневра (уравнителя) К происходит вследствие наличия случайных погрешностей координат совместно маневрирующих кораблей;

д) движение совместно маневрирующих кораблей линейно, участки разгона и потери скорости при циркуляции не учитываются.

Моделирование корреляционно независимых случайных погрешностей координат совместно маневрирующих кораблей произведено с использованием стандартной функции программной среды Mathcad (rnorm (N, mu, sigma)) [9], выдающей N случайных чисел, распределенных по нормальному закону распределения, с математическим ожиданием mu и СКО sigma. Математическое ожидание mu принято равным нулю, СКО sigma – РСКП координат маневрирующего корабля К $\sigma_K = \frac{M_K}{\sqrt{2}}$ и РСКП координат объекта маневра (уравнителя) М $\sigma_M = \frac{M_M}{\sqrt{2}}$.

Расчет элементов относительной позиции совместно маневрирующих кораблей производится по формулам:

$$П_Ф = arctg\left(\frac{(Y_1 + \Delta Y_0 b_1 + \Delta Y_{П1} a_1) - (Y_0 + \Delta Y_0)}{(X_1 + \Delta X_0 b_1 + \Delta X_{П1} a_1) - (X_0 + \Delta X_0)}\right); \quad (7)$$

$$D_ф = \sqrt{\left[(X_1 + \Delta X_0 b_1 + \Delta X_{П1} a_1) - (X_0 + \Delta X_0)\right]^2 + \left[(Y_1 + \Delta Y_0 b_1 + \Delta Y_{П1} a_1) - (Y_0 + \Delta Y_0)\right]^2}. \quad (8)$$

Математическая модель корреляционной зависимости случайных погрешностей координат, выработанных с использованием СНС ГЛОНАСС или СНС NASTAR GPS, определяется формулами (9) и (10) соответственно:

$$\rho(\Delta\tau) = e^{-0{,}015 \cdot \Delta\tau}; \quad (9)$$

$$\rho(\Delta\tau) = e^{-0{,}018 \cdot \Delta\tau}, \quad (10)$$

где Δτ − разность во времени снятия отсчетов корабельных приемоиндикаторов (КПИ) СНС совместно маневрирующих кораблей, в секундах. В данном случае рассматриваем выполнение обсервации совместно маневрирующими кораблями по одному созвездию навигационных космических аппаратов [6]. Разность времени снятия отсчетов КПИ СНС примем равной 1, 4 и 12 секунд. Данный интервал времени определяется дискретностью выдачи динамической информации аппаратурой АИС [4] в сообщении о местоположении. Также допускаем, что координаты совместно маневрирующих кораблей приведены на один момент времени.

Оценка влияния корреляционной зависимости случайных погрешностей координат совместно маневрирующих кораблей на точность определения относительной позиции производилась методом имитационного моделирования и определялась по значению отклонения от назначенной позиции, определяемого формулой:

$$d = \sqrt{D_H^2 + D_\Phi^2 - 2D_H D_\Phi \cos \Delta\Pi} \,. \qquad (11)$$

Проверка модели оценки влияния корреляционной зависимости случайных погрешностей координат совместно маневрирующих кораблей на точность определения относительной позиции, закона распределения случайных погрешностей относительной позиции, соответствия полученных числовых характеристик (математического ожидания, дисперсии) введенным исходным данным, произведена с использованием критерия согласия Пирсона и метода интервальных оценок, для чего построены гистограммы и кривые плотности распределения вероятностей случайных погрешностей относительной позиции. На основании сравнения гистограмм и кривых плотности распределения вероятностей случайных погрешностей относительной позиции подтвердилась гипотеза о соответствии распределения полученных погрешностей обобщенному закону Релея (математическое ожидание погрешностей относительной позиции не равно нулю).

Исследования, проведенные с использованием разработанной модели, показали, что при разности во времени снятия отсчетов КПИ СНС ГЛОНАСС, равной 1, 4 и 12 секунд, случайная погрешность определения относительной позиции составила 4,8 метра, 9,6 метра, 16,2 метра соответственно, а при использовании СНС NASTAR GPS составила 5,3 метра, 10,5 метра, 17,6 метра соответственно (рис. 2).

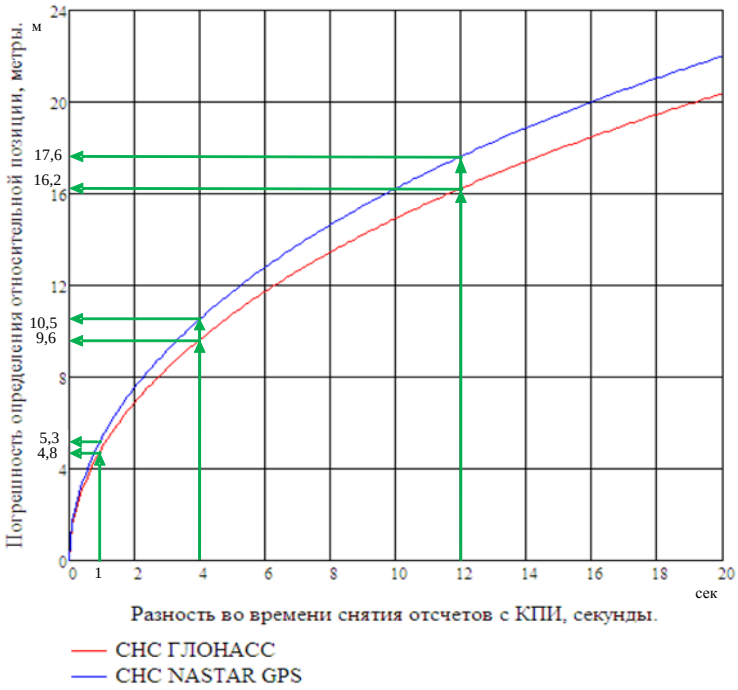


*Рис. 2. Случайная погрешность относительной позиции совместно маневрирующих кораблей при разности времени снятия отсчета с КПИ СНС ГЛОНАСС и СНС NASTAR GPS 1, 4 и 12 секунд*

Абсолютное и относительное уменьшение случайной погрешности относительной позиции, определяемой по координатам совместно маневрирующих кораблей, выработанных в стандартном режиме и по одному созвездию НКА СНС ГЛОНАСС и СНС NASTAR GPS с разностью времени снятия отсчета 1, 4 и 12 секунд представлено в табл. 1 и на рис. 3, 4.

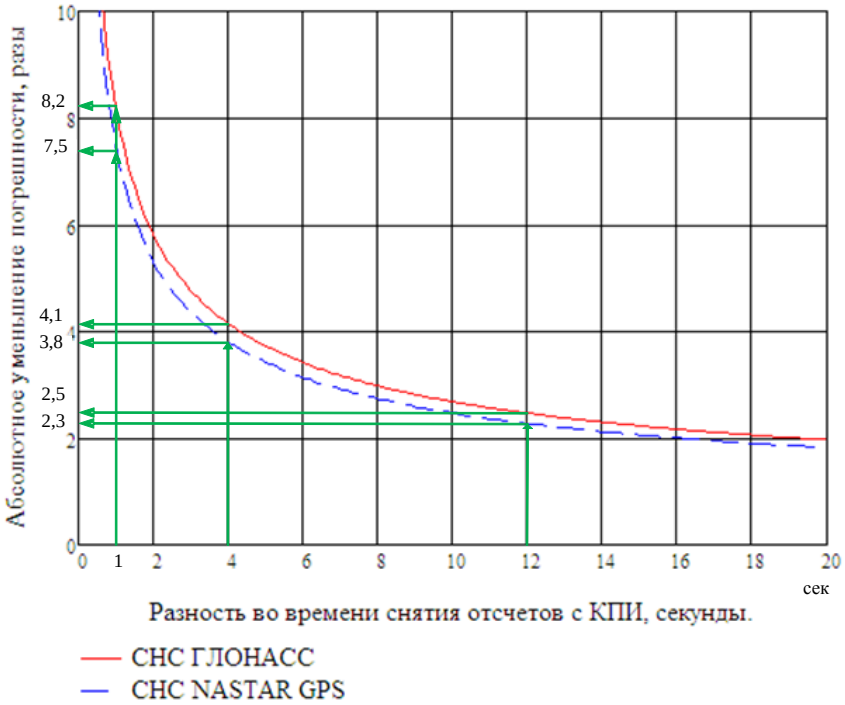


*Рис. 3. Абсолютное уменьшение случайной погрешности относительной позиции совместно маневрирующих кораблей при разности времени снятия отсчета по СНС ГЛОНАСС и СНС NASTAR GPS 1, 4 и 12 секунд*

Таблица 1

**Абсолютное и относительное уменьшение случайной погрешности относительной позиции совместно маневрирующих кораблей при разности времени снятия отсчета поСНС ГЛОНАСС и СНС NASTAR GPS 1, 4 и 12 секунд**

| СНС / $\Delta\tau$, секунды | 1 с | 4 с | 12 с |
|---|---|---|---|
| | Абсолютное уменьшение случайной погрешности относительной позиции, разы | | |
| СНС ГЛОНАСС | 8,2 | 4,1 | 2,5 |
| СНС NASTAR GPS | 7,5 | 3,8 | 2,3 |
| Относительное уменьшение случайной погрешности относительной позиции, % | | | |
| СНС ГЛОНАСС | 88 | 75,8 | 60 |
| СНС NASTAR GPS | 86 | 73,6 | 55,9 |

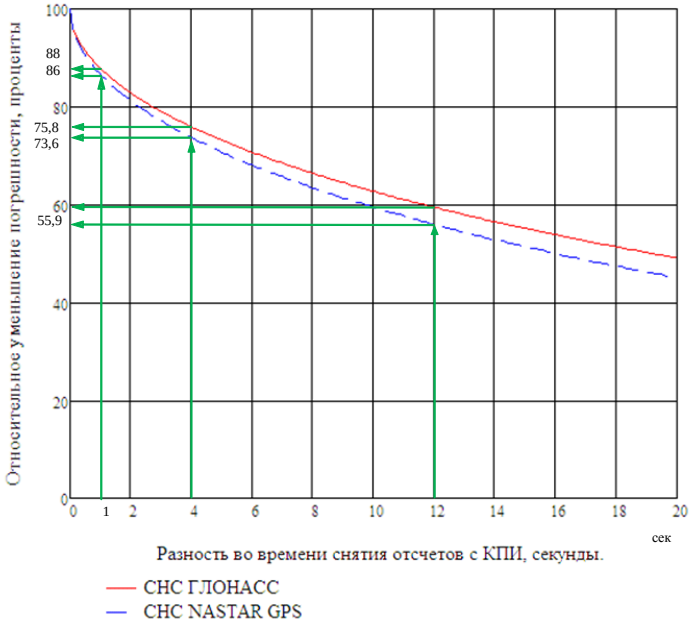


*Рис. 4. Относительное уменьшение случайной погрешности относительной позиции совместно маневрирующих кораблей при разности времени снятия отсчета по СНС ГЛОНАСС и СНС NASTAR GPS 1, 4 и 12 секунд*

Полученные в результате имитационного моделирования значения случайных погрешностей определения относительной позиции соизмеримы с используемыми для этих целей СНС ГЛОНАСС и СНС NASTAR GPS в дифференциальном режиме навигационных определений и значительно превосходят по точности определение относительной позиции по СНС в стандартном режиме, а также используемые для определения относительной позиции совместно маневрирующих кораблей РЛС и систему автоматической радиолокационной прокладки (САРП). Данные возможности могут быть реализованы при дальнейшем совершенствовании АИС и не требуют значительного изменения структуры и алгоритмов работы системы, вместе с тем позволят повысить эффективность использования АИС в обеспечении безопасности от столкновения вне зависимости от режима выдачи данных СНС.

Дальнейшие исследования в данном направлении связаны с оценкой возможности использования АИС по сигналам радионавигационных систем (РНС) МАРС-75, БРАС, РСДН-3, -4, -5 в целях резервирования источника данных. Данная необходимость обосновывается возможным введением ограничений по точности выработки координат с использованием СНС и созданием парциальных мертвых зон, что неоднократно происходило в период кризиса на Украине в апреле–мае 2014 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Маринич А.Н., Проценко И.Г., Резников В.Ю., Устинов Ю.М., Черняев Р.Н., Шигабутдинов А.Р.* Судовая автоматическая идентификационная система / Под общ. ред. Устинова Ю.М. – СПб.: Судостроение, 2004. – 180 с.
2. Навигационная аппаратура потребителей спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и NAVSTAR «Бриз–ПЛ». Руководство по эксплуатации. ТДЦК.461513.026 РЭ. – СПб.: КБ НАВИС. – М., 2002. – 73 с.

3. *Вагущенко Л.Л., Вагущенко Л.А.* Поддержка решений по расхождению с судами. – Одесса: Феникс, 2010. – 229 с.
4. Резолюция IMO A.917(22) от 29 ноября 2001 г. Руководство по эксплуатации на судах морской Автоматической идентификационной системы (АИС).
5. *Михайлов С.А., Орлов Е.О.* Методика расчета параметров сближения судов с использованием информации АИС // Сборник научных трудов. Вып. 16 «Судовождение». – Одесса: ОНМА им. Попова, 2009. – С. 113-123.
6. *Нахатович Л.А., Чичин М.А., Шарапов К.И., Ярошенко С.А.* Управление штурманской службой при ведении операций и боевых действий силами ВМФ. Часть I: учебное пособие. – СПб.: ВМА, 2003. – 116 с.
7. *Кабиров Р.С., Филонов Л.И., Тихонов А.Ю.* Организация навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения боевых действий соединений кораблей ВМФ. Часть 2: учебное пособие. – СПб.: ВМА им. Кузнецова Н.Г., 2004. – 208 с.
8. *Дьяконов В.П.* MathCAD в математике: справочник. – М.: Телеком, 2007. – 960 с.
9. *Луконин В.П.* Теория обработки навигационной информации: учебное пособие. – СПб.: ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2010. – 295 с.
10. *Михайлов С.А., Орлов Е.О.* Оценка погрешностей расчета параметров сближения судов по данным АИС // Материалы X научно-практической конференции «Практические проблемы развития радиосвязи и радионавигации в ГМЗЛБ, в системах АИС, СУРС и РИС». – Одесса: ОНМА им. Попова, 2009. – С. 45-47.

REFERENCES

1. *Marinich A.N., Protsenko I.G., Reznikov V.Yu., Ustinov Yu.M., Chernyaev R.N., Shigabutdinov A.R.* Sudovaya avtomaticheskaya identifikatsionnaya sistema [Ship automatic identification system]. St. Peterburg: Sudostroenie, 2004, 180 p.
2. Navigatsionnaya apparatura potrebiteley sputnikovykh radionavigatsionnykh sistem GLONASS i NAVSTAR «Briz–PL». Rukovodstvo po ekspluatatsii. TDTsK.461513.026 RE. St. Peterburg: KB NAVIS. Moscow, 2002, 73 p.
3. *Vagushchenko L.L., Vagushchenko L.A.* Podderzhka resheniy po raskhozhdeniyu s sudami [Support for the discrepancy with the courts]. Odessa: Feniks, 2010, 229 p.
4. Rezolyutsiya IMO A.917(22) ot 29 noyabrya 2001 g. Rukovodstvo po ekspluatatsii na sudakh morskoy Avtomaticheskoy Identifikatsionnoy Sistemy (AIS).
5. *Mikhaylov S.A., Orlov E.O.* Metodika rascheta parametrov sblizheniya sudov s ispol'zo-vaniem informatsii AIS [The method of calculation of parameters of convergence of vessels using the information AIS], *Sbornik nauchnykh trudov* [Collection of research papers], Issue 16 «Navigation». Odessa: ONMA im. Popova, 2009, pp. 113-123.
6. *Nakhatovich L.A., Chichin M.A., Sharapov K.I., Yaroshenko S.A.* Upravlenie shturmanskoy sluzhboy pri vedenii operatsiy i boevykh deystviy silami VMF [Control navigation service in the conduct of combat operations by the Navy]. Part I: uchebnoe posobie. St. Petersburg: VMA, 2003, 116 p.
7. *Kabirov R.S., Filonov L.I., Tikhonov A.Yu.* Organizatsiya navigatsionno-gidrograficheskogo i gidrometeorologicheskogo obespecheniya boevykh deystviy soedineniy korabley VMF [Organization of navigation hydrographic and hydro-meteorological support combat operations connections Navy]. Part 2: uchebnoe posobie. St. Petersburg: VMA im. Kuznetsova N.G., 2004, 208 p.
8. D'yakonov V.P. MathCAD v matematike: spravochnik [MathCAD in mathematics: a Handbook]. Moscow: Telekom, 2007, 960 p.
9. *Lukonin V.P.* Teoriya obrabotki navigatsionnoy informatsii [Treatment theory navigational information]: uchebnoe posobie. St. Petersburg: VUNTs VMF «VMA», 2010, 295 p.
10. *Mikhaylov S.A., Orlov E.O.* Otsenka pogreshnostey rascheta parametrov sblizheniya sudov po dannym AIS [Estimation of errors of calculation of parameters of convergence of the courts according to the AIS], *Materialy Kh nauchno-prakticheskoy konferentsii «Prakticheskie problemy razvitiya radiosvyazi i radionavigatsii v GMZLB, v sistemakh AIS, SURS i RIS»* [Proceedings of the X scientific–practical conference "Practical problems of development of radio communication and navigation in GSLB, AIS systems, resource and RICE"]. Odessa: ONMA im. Popova, 2009, pp. 45-47.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.А. Михальский.

**Гарматенко Игорь Сергеевич** – Военный учебно-научный центр Военно-морского флота «Военно-Морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» (ВУНЦ ВМФ «ВМА»); e-mail: garmatenkoigor@gmail.com; г. Санкт-Петербург, Ушаковская набережная, 17/1; тел.: +79046157350; адъюнкт.

**Garmatenko Igor Sergeevich** – Military educational–scientific center «Navy academy of N.G. Kuznecova» Saint-Petersburg; e-mail: garmatenkoigor@gmail.com; 17/1, Ushakovskaya embankment, Saint-Petersburg, Russia; phone: +79046157350; postgraduate student.

УДК 621.396.94

**В.С. Плаксиенко, А.С. Сиденков, И.В. Хадыка**

## ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕВОЙ ОБРАБОТКИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ЗАКОНУ РЕЛЕЯ

*Рассматриваются особенности оптимизации качества обработки дискретных сигналов в условиях значительной априорной неопределенности информации о параметрах сигналов в ситуациях, когда возможно применение только энергетического приема. Целью исследования является определение основных статистических характеристик преобразованных процессов после их структурно-временной, уровневой обработки, сопоставление полученных результатов с характеристиками исходных процессов, не подвергавшихся обработке. Показано, что если огибающие процессов в каналах обработки распределены по законам Релея, что характерно для случаев сильно флуктуирующих сигналов, то в результате такой обработки увеличивается разность математических ожиданий процессов и существенно расширяются спектры. Установлено, что значительно увеличивается также и разность вторых начальных моментов, т.е. мощности процессов в каналах после их уровневой обработки – обработки по методу взаимного преобразования. Это ухудшает условия различения сигналов. Для последующего принятия решения важна только информативная часть спектра, поэтому важно соотношение первого и второго начальных моментов в рамках информационного спектра, т.е. параметры процессов после фильтрации, ограничивающей спектр процессов информационно значащими рамками. Показано, что это соотношение увеличивается и, в конечном итоге, позволяет повысить достоверность обработки.*

*Сильно флуктуирующие сигналы; алгоритм обработки; фильтрация; структурно-временная, уровневая обработка; помехоустойчивость; законы распределения; алгоритмы и схемы обработки сигналов; плотности вероятности процессов на выходах детекторов; интегральные распределения процессов; первые и вторые начальные моменты; значения и зависимости первых и вторых начальных моментов.*

**V.S. Plaksienko, A.S. Sidenkov, I.V. Khadyka**

## THE RESEARCH OF THE LINEAR-LOGIC PROCESSING OF RANDOM PROCESSES DISTRIBUTED ACCORDING TO THE RAYLEIGH DISTRIBUTION

*The optimal processing features of discrete signals in conditions of considerable a priori information uncertainty about the signals parameters in situations where you can use only energy reception are considered. The aim of this research is to determine the basic statistical characteristics of the transformed processes after their time-structured linear-logic processing, the comparison of obtained results with the characteristics of the original process, not exposed to processing. It is shown that if the processes envelopes in the channels of the processing is distributed according to the Rayleigh distribution, which is typical for cases of strongly fluctuating signals, the result of such processing increases the difference between the mathematical expectations of the processes and expands the range of the frequency spectrum. It is established that the difference between the second initial moments increases significantly as well, that is, power of the processes in the*