

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.12>

УДК 621.396.67

МЕТОД ОБРАБОТКИ НЕРАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КОСМИЧЕСКОМ РАДИОМОНИТОРИНГЕ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СУДОХОДСТВА

И. Е. Калмычков, А. И. Мухин, А. Н. Смирнов

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,
197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13

Статья поступила в редакцию 23 марта 2021 г.

Аннотация. В статье представлен метод обработки неравноточных измерений, применение которого целесообразно при космическом радиомониторинге морских объектов. Разработанный метод повышает качество измерения параметров радиоизлучений при использовании космических средств с разным классом точности.

Ключевые слова: неравноточные измерения, обеспечение безопасности судоходства, космический радиомониторинг.

Abstract. The article presents a non-precision measurements processing method, the use of which is advisable for marine objects space radio monitoring. The developed method improves the quality of measurement of radio emission parameters when using space vehicles with different accuracy classes.

Keywords: non-precision measurements, ensuring the navigation safety, space radio monitoring.

Введение

В настоящее время для обеспечения безопасности судоходства, согласно Международной конвенции по охране человеческой жизни на море, на всех судах водоизмещением более 300 регистрационных тонн требуется установка радиосредств системы автоматической идентификации морских судов (АИС). Применение такой аппаратуры повышает ситуационную осведомленность

участников судоходства и снижает риски морских происшествий.

Однако, такая аппаратура не обязательна для установки на суда водоизмещением менее 300 регистрационных тонн. Кроме того, практика применения аппаратура системы АИС показывает возможность отключения аппаратура вследствие отказов. В этом случае необходимы альтернативные способы обеспечения безопасности судоходства.

Один из таких способов рассмотрен в работе [1]. Его суть состоит в приеме и анализе параметров излучений радиолокационных систем и систем радиосвязи, установленных и функционирующих на морских судах и прибрежной зоне. При этом для обеспечения требуемой зоны обзора морской поверхности и прилегающих акваторий предложено для этих целей использовать телекоммуникационные космические аппараты (КА) на низких орбитах типа LEO.

Следует отметить, что не все измерения, полученные с помощью телекоммуникационных КА, можно отнести к равноточным, это обусловлено особенностями баллистического движения КА на орбитах типа LEO. Кроме того, для повышения качества измерений целесообразно использовать большее число измерителей, что требует задействования различных телекоммуникационных космических систем с разными параметрами орбит и классом точности измерительной аппаратуры. Поэтому полученные измерения являются неравноточными и, следовательно, их нельзя обрабатывать по правилам равноточных измерений.

В настоящее время методам неравноточных измерений посвящено большое число научных трудов, в том числе фундаментальных [2, 3]. Кроме того, известны работы, в которых методы неравноточных измерений применяются для решения частных задач, например, в геодезии [4] и оценивании параметров подвижного объекта [5]. Однако в этих работах отсутствует метод, применение которого возможно при решении задач космического радиомониторинга.

Поэтому целью исследования, представленного в статье, является разработка метода обработки неравноточных измерений, учитывающего условия характерные для космического радиомониторинга морских объектов в интересах обеспечения безопасности судоходства.

1. Метод обработки неравноточных измерений для условий космического радиомониторинга

При ведении космического радиомониторинга полученные измерения параметров сигналов могут считаться равноточными при выполнении следующих условий:

1. Параметры орбиты КА для всех выполненных измерений являются неизменными.

2. Точность измерительной аппаратуры остается неизменной при выполнении всех измерений.

Однако в условиях эксплуатации реальных систем космического радиомониторинга обеспечить выполнение перечисленных условий невозможно по следующим причинам:

1. Для обеспечения требуемого качества и объема измерений при решении задач радиомониторинга могут использоваться космические системы с разными параметрами орбит, а также системы с суточным сдвигом трассы. В этом случае обеспечить требуемый объем измерений возможно только на временном интервале не меньше нескольких суток, что противоречит целевой задаче – обеспечению безопасности судоходства.

2. Измерительная аппаратура, реализующая радиотехнические измерения, обязательно включает в свой состав аналоговые системы, параметры которых зависят от внешней среды, в частности температуры, что в свою очередь приводит к различному уровню искажений обрабатываемого радиосигнала и как следствия разным погрешностям измерений.

Следовательно, измерения параметров радиосигнала, полученные в ходе космического радиомониторинга, необходимо обрабатывать как неравноточные на основе метода, включающего следующие этапы.

Этап 1. Вычисление среднего арифметического значения результатов измерений

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

где x_i – результаты измерений величины X , численно характеризующей значение измеряемого параметра, n – число выполненных измерений величины X .

В теории вероятностей и математической статистике показано, что при нормальном распределении значений x_i обеспечить $\bar{x} = X$, возможно только при $n \rightarrow \infty$, что на практике недостижимо. Поэтому для получения качественной оценки величины X необходимо предварительно определить параметры качества (точность и надежность), характеризующие оценку. После этого рассчитывается потребное число опытов n на основе методики, представленной в [6].

Этап 2. Вычисление приближенной погрешности результатов измерений

$$\Delta_i = x_i - \bar{x} \quad (2)$$

Этап 3. Исключение из результатов измерений значений x_i с грубыми погрешностями. Для реализации этого этапа целесообразно использовать критерий Граббса.

Этап 4. Вычисление среднеквадратической отклонения (СКО) измерений

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n}}, \quad (3)$$

Этап 5. Оценивания точности измерения СКО

$$\delta = \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}, \quad (4)$$

Этап 6. Оценивание веса результатов измерений (p)

$$p = \frac{c}{\delta^2}, \quad (5)$$

где c – коэффициент, значение которого рассчитывается следующим образом

$$c = \delta_{\min}^2, \quad (6)$$

где δ_{\min} – наименьший δ , из всех имеющихся. На практике δ_{\min} можно получить по предварительным результатам от КА, осуществляющего более точные измерения по сравнению с другими, т.е. от эталонного КА. В качестве такого КА целесообразно использовать КА с минимальной орбитой и с измерительной аппаратурой с максимальным классом точности.

Следует отметить, что чем больше вес, тем надежнее результат измерения, при этом вес одной совокупности измерений не может быть больше единицы.

Этап 7. Вычисление результирующей качественной оценки по результатам обработки неравноточных измерений ($\bar{x}_{рез}$)

$$\bar{x}_{рез} = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}, \quad (7)$$

Отличительной процедурой разработанного метода является использование значения δ_{\min} , полученного предварительно с помощью эталонного КА радиомониторинга.

апробация разработанного метода

2. Апробация разработанного метода

Проверка работоспособности разработанного метода выполнена на основе имитационного моделирования. В ходе моделирования сформированы три вектора случайных значений, распределенных по нормальному закону с математическим ожиданием m_x и СКО σ_x объемом N (таблица 1). Сформированные вектора эмитируют результаты измерений, полученные от трех КА с разным классом точности.

Таблица 1. Исходные данные, принятые при моделировании

Номер вектора	m_x	σ_x	N
1	200	5	1000
2	230	35	1000
3	155	50	1000

Обработка сформированных векторов осуществлялась на основе метода равноточных измерений (рис.1а) и на основе разработанного метода (рис. 1б). При этом в качестве измерений эталонного КА выбран вектор №1, так как он обладает наименьшей СКО.

Результаты измерений показывают меньшую погрешность при использовании разработанного метода (рис. 1). Это свидетельствует о его работоспособности и целесообразности практической реализации.

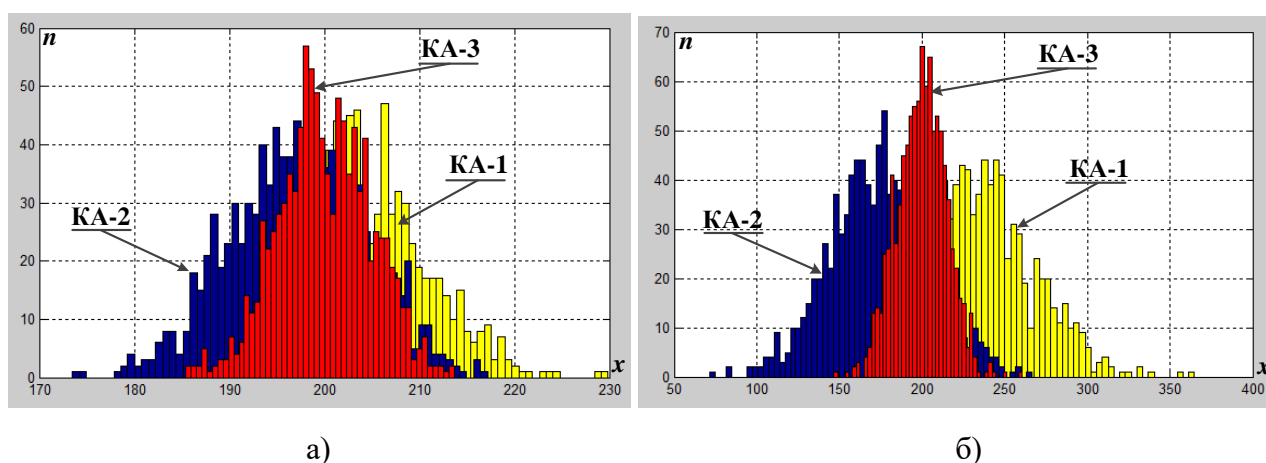


Рис. 1. Результаты обработки измерений на основе метода обработки равноточных измерений (а) и разработанного метода (б)

Вывод

Таким образом, результаты исследований, представленные в статье, позволяют сформулировать следующее положение: при ведении космического радиомониторинга морских объектов в целях обеспечения безопасности судоходства результаты измерений параметров радиосигналов целесообразно обрабатывать на основе метода обработки неравноточных измерений, отличительной особенностью которого является использование предварительных измерений от аппаратуры КА с наибольшим классом точности.

Литература

1. Мухин А.И., Пучкова И.А., Коптев Д.С. Альтернативный способ мониторинга судов для обеспечения безопасного мореплавания при

отсутствии радиоизлучений от AIS-Транспондеров. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение.* 2019. Т.9. №2(31). С. 22-34.

2. Новицкий П.В. *Оценка погрешностей результатов измерений.* Ленинград, Энергоатомиздат., Ленинградское отделение. 1991. 304 с.
3. Кузнецов Б.Ф. *Стохастические модели и методы анализа информационно-измерительных систем АСУ ТП.* Ангарск, Ангарская государственная техническая академия. 2007. 180 с.
4. Жилин С.И., Байкалова Т.В. *Обработка неравноточных инженерно-геодезических измерений нестатистическими методами.* *Известия Алтайского государственного университета.* 2011. №1. С.94-97.
5. Елисеев А.В., Крылова А.А., Остапенко А.В. *Алгоритмы обработки измерений параметров движения маневрирующего объекта в условиях неравноточных измерений.* *Радиотехника.* 2014. №8. С.29-38.
6. Юсупов Р.М. *Статистические методы обработки результатов наблюдений.* Москва, Министерство обороны СССР. 1984. 786 с.

Для цитирования:

Калмычков И.Е., Мухин А. И., Смирнов А.Н. Метод обработки неравноточных измерений при космическом радиомониторинге морских объектов в целях обеспечения безопасности судоходства. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №4. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.12>