

**IDENTIFICATION OF MEASUREMENT ERROR
DISTRIBUTION LAW****ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ****V.M. Alekseychuk, master, S.S. Pasechnyuk, PhD student****В.М. Алексейчук, магистр, С.С. Пасечнюк, аспирант***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

The results of verification of hypotheses of distributing errors of the navigation measurings are presented in the article on the basis of statistical materials from authentic external environment. It is shown that the errors of measuring navigation parameters, the selection of which is made during two days, are subject to the mixed laws of both types.

Keywords: errors of the navigation measurings, verification of hypotheses of distributing errors, mixed laws of distributing.

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

Одной из важнейших проблем повышения безопасности судовождения является снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах. Высокоточная информация о текущем положении судна и его параметрах движения необходима для обеспечения безопасного судовождения. В свою очередь, точность определения места судна при избыточных измерениях существенным образом зависит от закона распределения их погрешностей, что обуславливает необходимость их экспериментального определения.

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

Вопросам рассмотрения локальных радионавигационных систем и их точности посвящены работы [3, 4]. В публикации [3] рассмотрены вопросы разработки высокоточных радиолокационных систем обращенного типа, а в работе [4] анализируются вопросы обеспечения высокой точности проводки судна в узкости при помощи корреляционных методов навигации. В рассмотренных работах показано, что высокая точность контроля текущего места судна достигается за счет измерения избыточных навигационных параметров, для обработки которых используется метод наименьших квадратов. Использование этого метода предполагает распределение погрешностей измерения навигационных параметров по закону Гаусса. Однако,

как показывают статистические исследования, закон распределения погрешностей измеряемых навигационных параметров зачастую может отличаться от нормального закона [1, 2]. Это обстоятельство повело к поиску альтернативных законов распределения вероятностей погрешностей навигационных измерений, и проверка их на материалах натуральных наблюдений, чему посвящена данная статья.

Формулировка целей статьи

Целью данной статьи является проверка статических гипотез распределения погрешностей навигационных измерений, представленных выборками, полученными в натуральных наблюдениях.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В порту Дакар получены четыре выборки случайных погрешностей измерения пеленга, дистанции, широты и долготы. В течении двух суток производились измерения указанных навигационных параметров, и каждая выборка состоит из 250 членов. Основные характеристики указанных четырех выборок приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики выборок

| Навигационный параметр | Число измерений | Среднее значение | Дисперсия D | С. к. о. σ |
|------------------------|-----------------|------------------|-------------|-------------------|
| пеленг | 250 | 122,21° | 0,246 | 0,496° = 29,76' |
| дистанция | 250 | 0.1206 мм | 5,68 | 2,38 м |
| широта | 250 | 14°41'.0030 N | 38,11 | 6,17 м |
| долгота | 250 | 17°25'.4313 W | 39,84 | 6,31 м |

Каждая из выборок погрешностей измерения разделена на 20 разрядов с длиной каждого разряда равной половине значения σ . Для полученных выборок были построены гистограмма и произведена проверка статистических гипотез [5], в процессе которой определялась степень согласия статистического материала каждой выборки с выбранными законами распределения вероятностей погрешностей.

В качестве альтернативных законов выбран нормальный закон [5]:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

и смешанные законы первого и второго типа [6, 7]:

$$f_1(x) = \frac{2^n \alpha^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} \cdot 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{n+1}}, \quad (n \leq 6)$$

$$f_2(x) = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1)\alpha^{n+1}}{\sqrt{2}2^{n+1}n!} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{n+1,5}}, \quad (n \leq 5)$$

Для расчета критерия согласия χ^2 – Пирсона используется гистограмма, а расчет производится по формуле [5]:

$$\chi^2 = \sum_1^s \frac{(m_i - NP_i)^2}{NP_i},$$

где s - число разрядов гистограммы; N – количество членов выборки;

$P_i = F[\frac{\sigma}{2}(i - \frac{s}{2})] - F[\frac{\sigma}{2}(i - \frac{s}{2} - 1)]$, здесь $F[x]$ - функция распределения погрешности.

Для каждой выборки рассчитаны значения критерия согласия χ^2 – Пирсона с указанными законами распределения вероятностей погрешностей, и в качестве закона распределения выбирался тот, для которого критерий согласия χ^2 – Пирсона имеет минимальное значение.

В качестве примера на рис. 1 показана гистограмма погрешностей измерения пеленга и кривая плотности смешанного распределения второго типа с существенным параметром $n=3$.

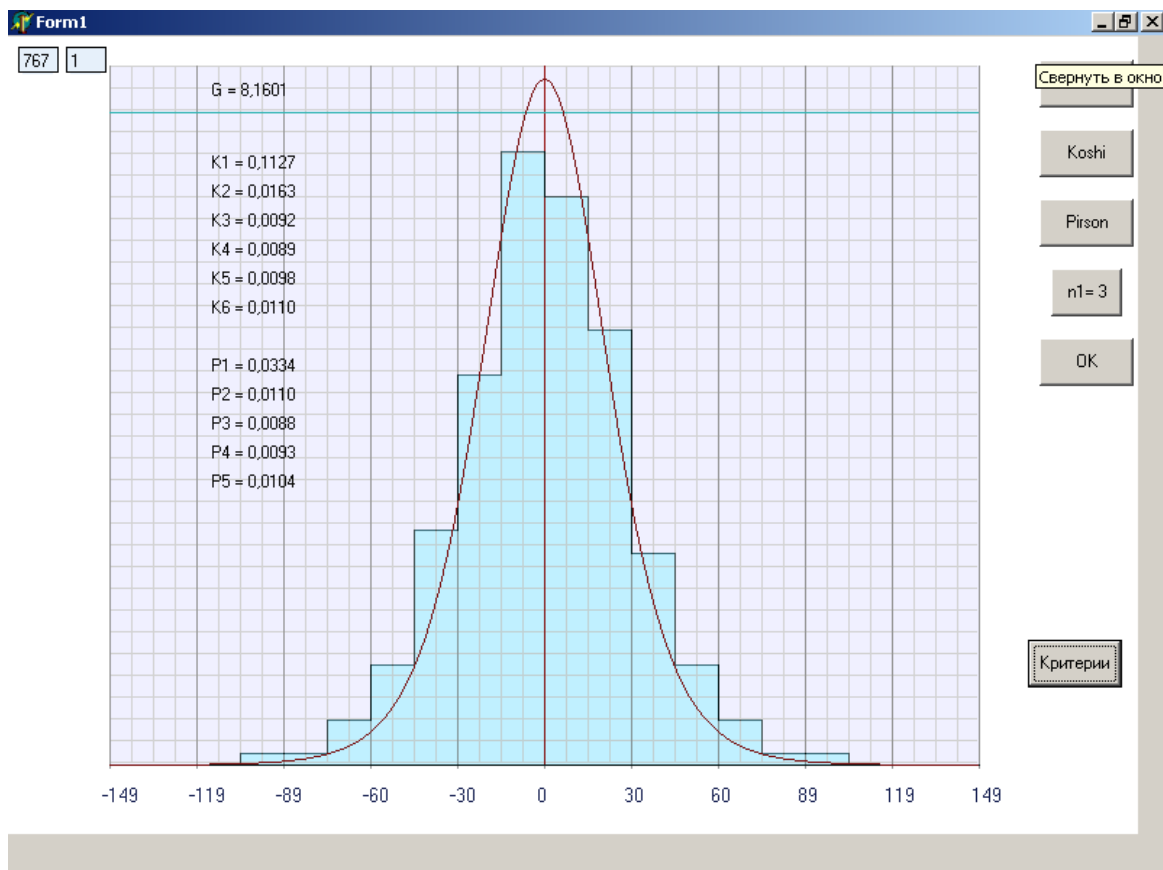


Рис. 1. Гистограмма выборки погрешностей пеленга

Результаты проверки гипотез представлены в табл.2.

Таблица 2. Итоговые результаты натурных наблюдений

| № | Навигационный параметр | Число членов | Закон распределения | χ^2 | Длительность наблюдений |
|---|------------------------|--------------|---------------------|----------|-------------------------|
| 1 | пеленг | 250 | 2-го типа n=3 | 0,0088 | 2 суток |
| 2 | дистанция | 250 | 1-го типа n=4 | 0,0088 | 2 суток |
| 3 | широта | 250 | 1-го типа n=1 | 0,010 | 2 суток |
| 4 | долгота | 250 | 2-го типа n=1 | 0,009 | 2 суток |

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

В случае отличия закона распределения погрешностей навигационных измерений от нормального закона при наличии избыточных измерений и расчете обсервованных координат методом наименьших квадратов происходит потеря их точности. При этом дисперсия обсервованной точки может быть в два раза больше минимально возможной дисперсии, полученной методом максимального правдоподобия [6]. Снижение точности обсервации сопряжено с ростом вероятности возникновения навигационной аварии.

Анализ итоговой таблицы показывает, что погрешности измерения пеленга и дистанции, как и погрешности широты и долготы, на интервале времени более суток подчинены смешанным законам распределения. Это указывает на целесообразность использования наряду с методом наименьших квадратов метода максимального правдоподобия для расчета координат при избыточных измерениях.

В дальнейшем целесообразна проверка гипотез распределения полученного статистического материала по обобщенному закону Пуассона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна/ В.Т. Кондрашихин – М.: Транспорт, 1989. – 250 с.
2. Hsu D.A. An analysis of error distribution in navigation/ D.A. Hsu // The Journal of Navigation. – Vol. 32.- № 3. – P. 426-429.
3. Алексишин В.Г. Перспективы разработки навигационных систем обращенного типа / В.Г Алексишин, Д.А. Бузовский // Судовождение. – 2005. - № 9. – С. 3 – 6.
4. Широков В.М. Результаты имитационного моделирования обсерваций судна в стесненных условиях / В.М. Широков // Судовождение. – 2004. - № 8. – С. 103 – 107.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель - М.: Наука, 1969. - 576 с.
6. Бурмака И.А. Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных измерениях / Бурмака И.А., Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.

адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 1 (35). – С. 24-29.

7. Астайкин Д.В. Идентификация законов распределения навигационных погрешностей смешанными законами двух типов / Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М. // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – 2014. – Вып. 20. Одесса: ОНМА. – С. 3 –9.