

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

## SURVEY OF THE SEISMOLOCATION MEASUREMENTS' DISTRIBUTION

**A. Marhakshinov  
L. Makshanova  
T. Tsybikova**

*Summary.* The results of the experimental study of the human location estimates distribution type are considered. The estimates are obtained with seismic geophonic sensors. Presence of the dependence between the object position in relation to the measuring sensors and location estimation accuracy is revealed. Based on the experimental data analysis, conclusion about the possibility of the more precise description of the seismolocation measurements' distribution with the beta law is drawn.

*Keywords:* seismic guard systems, probability density estimation, location measurements.

**Мархакшинов Аюр Лувсаншаравович**

К.т.н., старший преподаватель, ФГБОУ ВО  
«Бурятский государственный университет имени  
Доржи Банзарова», Россия, Улан-Удэ  
ayurmar@yandex.ru

**Макшанова Лариса Михайловна**

К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Бурятский  
государственный университет имени Доржи  
Банзарова», Россия, Улан-Удэ  
lorimak@list.ru

**Цыбикова Туяна Сандаликовна**

К.п.н., доцент, ФГБОУ ВО «Бурятский  
государственный университет имени Доржи  
Банзарова», Россия, Улан-Удэ  
cts2001@mail.ru

*Аннотация.* Рассматриваются результаты экспериментального исследования характера распределения сейсмолокационных оценок местоположения человека, полученных с помощью геофонных датчиков. Показано наличие зависимости между расположением объекта относительно измерительных датчиков и точностью оценивания его местоположения. На основании анализа экспериментальных данных сделан вывод о возможности более точного описания распределения сейсмолокационных измерений с помощью бета-закона.

*Ключевые слова:* сейсмические системы охраны, оценка плотности распределения вероятностей, измерение местоположения.

## Введение

**Д**ля обеспечения безопасности на протяженных рубежах широко применяются периметровые средства охраны различных типов: виброакустические, инфракрасные, магнитометрические, сейсмические, емкостные и другие. Сейсмические системы охраны (ССО) относятся к пассивным системам, не допускающим демаскирующего излучения энергии в окружающее пространство. Другим достоинством ССО является возможность их скрытой установки за счет погружения датчиков и кабелей в грунт, что обеспечивает визуальную незаметность систем подобного вида.

Обладая наибольшей потенциальной способностью обнаружения среди пассивных охраняемых систем, ССО особенно нуждаются в повышении эффективности алгоритмов обработки данных, как в основном средстве улучшения их тактико-технических характеристик [1].

## 1. Описание эксперимента

Дискретные сейсмические датчики в отличие от более простых линейных чувствительных элементов позволяют локализовать местоположение нарушителя с точностью до нескольких метров. Получаемые оценки координат при необходимости могут быть использованы для дальнейших вычислений, например, для оценки траектории движения нарушителя.

Стоит отметить, что главной особенностью ССО является специфическая среда распространения сейсмических сигналов. Применение известных радиолокационных методов оценивания локального местоположения объектов и траекторного анализа в данной области, разумеется, возможно, но различия в распределении первичных измерений, обусловленные разными средами распространения сигналов, могут привести к неоптимальным результатам.

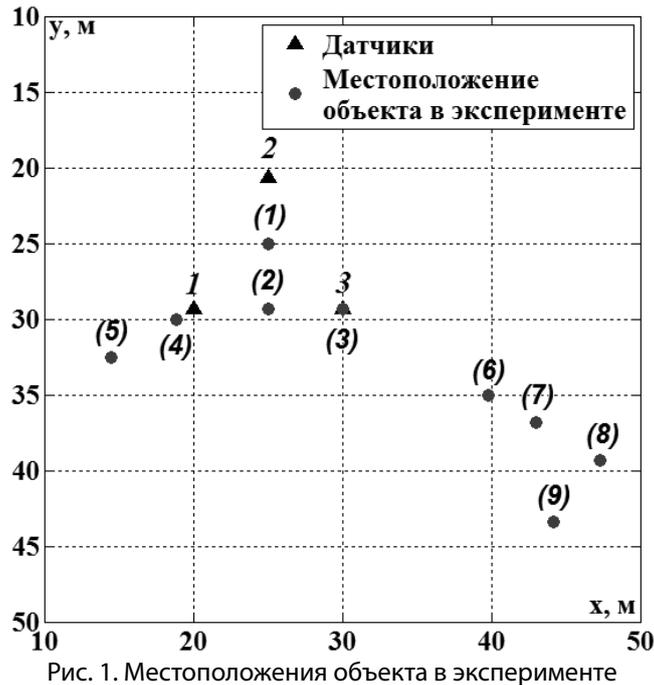


Рис. 1. Местоположения объекта в эксперименте

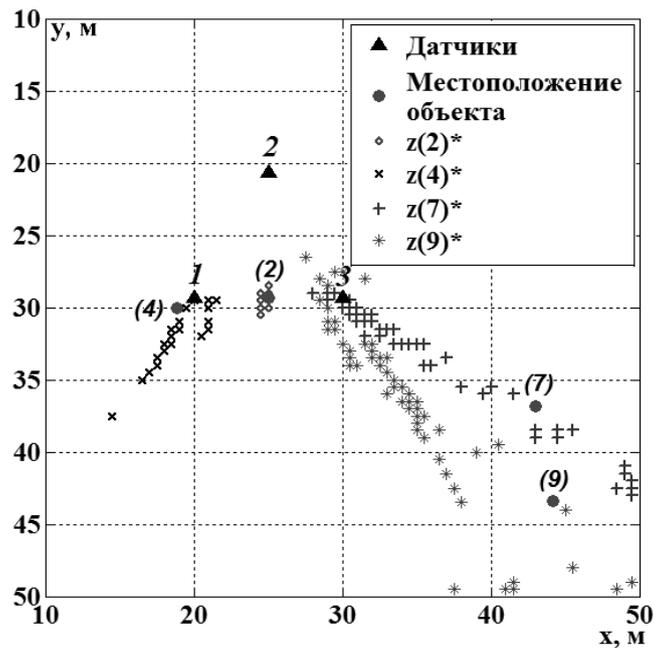


Рис. 2. Оценки координат объекта, полученные в реальных условиях (эксперименты № 2, 4, 7, 9)

Для получения представления о характере распределения реальных сейсмолокационных измерений был предпринят ряд натурных экспериментов. В ходе экспериментов тройкой датчиков-геофонов, образующих навигационный треугольник, регистрировались серии многократно повторяющихся шагов человека, выполнявшиеся в точках с известными координатами  $\mathbf{z}_i = \|x_i, y_i\|^T$ . Расстояние между датчиками по результатам подготовительных замеров было выбрано равным

10 м. На рис. 1 показаны местоположения объекта в одном из экспериментов, для которых фиксировались результаты измерений.

Длительность проводившихся воздействий позволила получить около 200 локальных оценок декартовых координат местоположения

$$\mathbf{z}_i^* = \|x_i^*, y_i^*\|^T$$

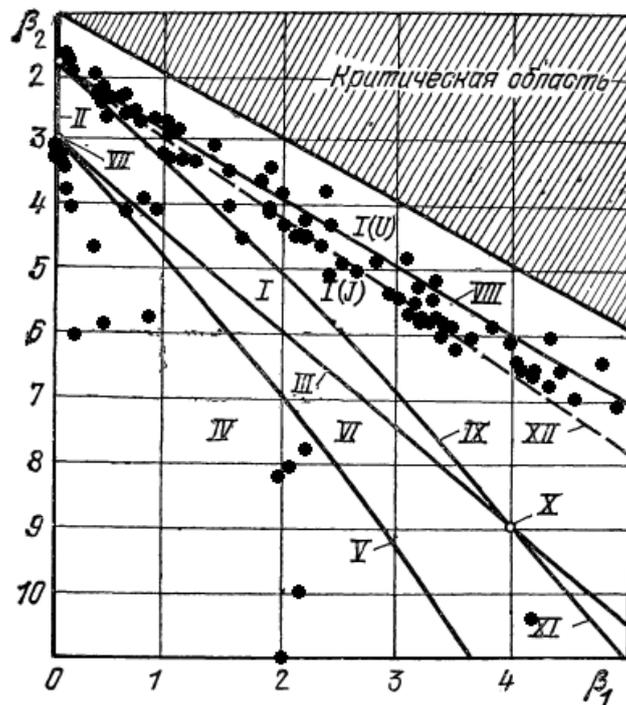


Рис. 3. К выбору типа распределения по диаграмме Пирсона

для каждого эксперимента. Для расчета оценок  $z_i^*$  использовался разностно-дальномерный метод.

11. Анализ результатов эксперимента

Характер разброса оценок местоположения, полученных экспериментально, позволяет говорить о наличии существенной зависимости между местоположением объекта и точностью определения его координат (рис. 2). Заметим, что похожее влияние геометрического фактора на величины ошибок измерения координат имеет место и в пассивной радиолокации [2].

Далее была предпринята попытка определить характер распределения измерений  $z_{ii}^*$ , т.к. в случае его отличия от нормального закона, используемого в радиолокационных методах оценивания, можно ожидать повышения точности дальнейшего траекторного анализа. Наиболее подходящий закон распределения выбирался из семейства распределений Пирсона с помощью метода моментов, который подробно рассмотрен, например, в [3]. Для каждого набора экспериментальных данных  $x_i^*$  и  $y_i^*$  вычислялась пара величин  $\beta_1$  и  $\beta_2$ :

$$\beta_1 = \mu_3^2 \mu_2^{-3} = \gamma_1^2, \quad \beta_2 = \mu_4 \mu_2^{-2} = \gamma_2 + 3, \quad (1)$$

где  $\mu_k$  — центральные моменты распределения,  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  — коэффициенты асимметрии и эксцесса. Рассчитанные пары значений  $\beta_1$  и  $\beta_2$  далее наносились на диаграмму Пирсона, позволяющую определить тип распреде-

ления. Результаты анализа экспериментальных данных приведены на рис. 3.

Видно, что значительная часть точек оказалась расположена в области I типа, что указывает на схожесть распределений выборок с бета-распределением вида:

$$w(x_n) = \frac{1}{B(a,b)} x_n^{a-1} (1-x_n)^{b-1}, \quad (2)$$

где

$$x_n = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}; \quad a = \frac{m_1(m_1 - m_2)}{m_2 - m_1^2}; \quad b = \frac{(1 - m_1)(m_1 - m_2)}{m_2 - m_1^2};$$

$m_1$  и  $m_2$  — математическое ожидание и второй начальный момент величины  $x_n$ , соответственно;  $B(\cdot)$  — бета-функция.

Отметим, что нормальному распределению на диаграмме соответствует точка VII.

**Заклучение**

Таким образом, было показано, что распределение сейсмолокационных наблюдений, получаемых от геофонных датчиков, точнее описывается с помощью бета-закона. Данный факт может быть использован для повышения точности алгоритмов траекторного анализа, использующих подобные измерения в качестве входных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Звездинский С.С., Иванов В. А. Повышение информативности пассивных периметровых средств обнаружения // Современные технологии безопасности. — 2005. — № 1. — С. 6–11.
2. Ширман Я. Д. Теоретические основы радиолокации. — М: Советское радио, 1970. — 560 с.
3. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. 2-е изд., перераб. и доп. — М: Радио и связь, 1982. — 624 с.

---

© Мархакшинов Аюр Лувсаншаравович ( ayurmar@yandex.ru ),  
Макшанова Лариса Михайловна ( lorimak@list.ru ), Цыбикова Туяна Сандаликовна ( cts2001@mail.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Г. Улан-Удэ