

УДК519.213, 519.254, 621.391

## **АНАЛИЗ НАХОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТА В ЗАДАННОЙ ОБЛАСТИ В СЕЙСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ**

**Д.Н. Зима, Д.О. Соколова, А.А. Спектор**

*Новосибирский государственный технический университет*

Одними из перспективных средств охраны периметров большой протяженности являются системы пассивной локации, основанные на регистрации сейсмического сигнала нарушителя. Такие системы обладают рядом преимуществ: пассивный принцип работы и высокая степень маскировки. Для неподготовленного нарушителя они делают невозможным обнаружение точного места установки и, следовательно, препятствуют его незаметному проникновению на охраняемую территорию. Среди задач, решаемых такими системами, не последнее место отводится задаче избирательного обнаружения объекта в определенной части зоны обнаружения – зоне контроля. Одним из основных требований, предъявляемых к алгоритмам, решающим эту задачу, является работа в режиме реального времени, с минимальной задержкой. Предлагаемый в работе алгоритм строится на основе методов статистического анализа сигналов сейсмических систем. Полученные результаты исследований показывают достаточно простую практическую реализацию и соответствие требованиям, предъявляемым к подобным системам.

*Ключевые слова:* сейсмические системы охраны, обнаружение объекта, зона контроля, зона обнаружения, энергетический параметр среды, апостериорная вероятность.

DOI: 10.17212/1727-2769-2018-2-52-61

### **Введение**

Сейсмические системы охраны активно развиваются на протяжении последних 15 лет. Актуальность разработки и использования сейсмических систем охраны высока ввиду ряда особенностей таких систем, одной из которых является их скрытность (пассивность и установка непосредственно в грунт) [1]. В ходе обработки сигналов обычно ставятся задачи обнаружения объекта, его классификация, определение траектории движения объекта [2–6, 9]. Вместе с тем, развитие сейсмических систем охраны характеризуется появлением новых задач. К их числу относится избирательное обнаружение объекта в определенной зоне, называемой зоной контроля, из общей зоны – зоны обнаружения, в пределах которой чувствительными элементами системы могут регистрироваться сигналы из неинтересующей с точки зрения охраны области. Объекты, находящиеся в зоне обнаружения, не должны обнаруживаться системой до тех пор, пока они не войдут в зону контроля. При этом необходимо, чтобы эта задача была решена в реальном времени (с минимальной задержкой).

Данная задача может быть решена путем определения координат объекта по совокупности измерений задержек сигналов или по совокупности их интенсивностей [5]. В свою очередь алгоритм, основанный на измерении энергетических параметров сигнала, можно реализовать путем решения задачи параметрической оптимизации [7, 8]. Но в виду того, что для решения этой задачи необходима достаточно большая база реальных сигналов, в данной работе оценка координат объекта выполнена путем табличной реализации метода максимального правдоподобия.

### 1. Оценка координат на основе измерения интенсивностей сигналов

Рассмотрим фрагмент сейсмической системы охраны (ССО), состоящий из  $n$  - датчиков, на которых произошло обнаружение объекта [9]. Полагаем, что объект (человек, группа людей и др.) производит импульсное воздействие на грунт. Данное воздействие имеет ярко выраженный случайный характер, поэтому обработка таких сигналов должна осуществляться на основе статистических методов.

Сигналы в пределах импульсов являются гауссовскими случайными процессами [3] и образуют первичные (энергетические) статистики:

$$u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n, \quad (1)$$

где  $u_i$  – средняя мощность одного импульса на  $i$  -м датчике, определяемая выражением

$$u_i = \frac{1}{\tau} \sum_{j=1}^{\tau} \zeta_{ij}^2, \quad (2)$$

где  $\zeta_{ij}$  –  $j$ -й отсчет наблюдаемого (выбеленного) сигнала на  $i$ -м датчике.

Если имеется  $K$  импульсных воздействий (шагов), то наблюдение представляет собой совокупность векторов шага вида (1):

$$\begin{cases} U_1 = \|u_{11}, u_{12}, \dots, u_{1n}\|^T, \\ U_2 = \|u_{21}, u_{22}, \dots, u_{2n}\|^T, \\ \dots \\ U_K = \|u_{K1}, u_{K2}, \dots, u_{Kn}\|^T, \end{cases} \quad (3)$$

где  $u_{Ki}$  – результат наблюдения  $K$ -го импульса (шага) на  $i$ -м датчике. Символ  $T$  в системе (3) обозначает транспонирование.

Полагаем, что перемещение объекта за время наблюдения пренебрежимо мало, т. е. координаты объекта не изменяются за время наблюдения.

В силу принятого условия о неизменности координат за время наблюдения статистики  $u_{Ki}$  подчиняются гауссовскому распределению  $p_i(u)$ , не зависящему от номера шага  $K$ , со средним значением  $\overline{u_i}$  и дисперсией  $D_i$  [3].

Согласно [8] была исследована зависимость вида (4)

$$\overline{u_i} = \frac{\mu}{R_i}, \quad (4)$$

где  $R_i$  – расстояние от объекта до  $i$ -го датчика, а  $\mu$  – энергетический параметр среды (характеризует сейсмическую проводимость среды распространения сейсмических колебаний), который неизменен по времени и по пространству (т. е. среда в пределах выбранных  $n$  -датчиков стационарная и однородная).

Пусть координаты всех датчиков  $(x_i, y_i)$  декартовы и известны, а  $(x, y)$  – координаты объекта, создающего импульсное воздействие. Тогда

$$R_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}. \quad (5)$$

При точно известной величине  $\overline{u_i}$  для трех датчиков для совместного определения  $x$ ,  $y$  и  $\mu$  достаточно одного наблюдения

$$U_1 = \|u_{11}, u_{12}, u_{13}\|^T \quad (6)$$

так как компоненты вектора (6) позволяют построить систему:

В действительности средние интенсивности  $\overline{u_{1i}}$  неизвестны, а имеются лишь случайные векторы  $U_1, U_2, \dots, U_K$ , по которым можно построить статистическую оценку указанных параметров  $x$ ,  $y$ ,  $\mu$ .

## 2. Статистическая оценка параметров $x$ , $y$ , $\mu$

Оценки  $x^*$ ,  $y^*$ ,  $\mu^*$  определяются по критерию максимума правдоподобия.

Плотность распределения вероятностей  $P(U|x, y, \mu)$  для вектора

$$U^T = \|U_1^T, U_2^T, \dots, U_K^T\|^T \quad (8)$$

– это расширенный вектор из  $n \cdot K$  элементов, для  $K$ -шагов и  $n$ -датчиков, который можно определить следующим выражением:

$$P(U|x, y, \mu) = \prod_{j=1}^K \prod_{i=1}^n p(u_{ji}|x, y, \mu). \quad (9)$$

Отсчеты являются независимыми, поскольку регистрируются на разных датчиках. С учетом того, что все сомножители в выражении (9) являются гауссовскими случайными величинами [3] с математическим ожиданием  $\overline{u_{ji}}$  и одинаковыми дисперсиями  $D$ , искомая плотность примет вид

$$P(U|x, y, \mu) = (2\pi D)^{\frac{nK}{2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2D} \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n \left( u_{ji} - \frac{\mu}{R_i(x, y)} \right)^2 \right\}. \quad (10)$$

Оценка максимального правдоподобия минимизирует функцию

$$\Psi(x, y, \mu) = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n \left( u_{ji} - \frac{\mu}{R_i(x, y)} \right)^2 \rightarrow \min_{x, y, \mu}, \quad (11)$$

где  $R_i(x, y)$  определяется выражением (5).

Для решения используется табличный метод: трехмерная таблица в пространстве переменных  $x$ ,  $y$ ,  $\mu$ . Решение ищется в узлах рабочей области пространства. В рабочей области пространства образуется сетка (например, прямоугольная или квадратная) с узлами в точках  $x = \xi_m$ ,  $y = \eta_l$ ,  $(m, l) = \overline{1, L}$ . Для каждого датчика составляется таблица расстояний от него до каждого узла сетки:

$$R_i(\xi_m, \eta_l) = \sqrt{(\xi_m - x_i)^2 + (\eta_l - y_i)^2}. \quad (12)$$

Располагая вектором наблюдений  $U$  вида (8), при помощи критерия (11), можно определить оптимальную оценку энергетического параметра среды  $\mu^*$  из условия вида

$$\left. \frac{\delta \Psi(x, y, \mu)}{\delta \mu} \right|_{x=\xi_m, y=\eta_l} = 0. \quad (13)$$

Оценка  $\mu^*$ , полученная в результате решения уравнения (13), минимизирует критерий (11) при выполнении равенств  $x = \xi_m, y = \eta_l$ :

$$\mu^* = f_\mu(\xi_m, \eta_l, U), \quad (14)$$

т. е., если координаты объекта совпадают с координатами узлов сетки  $x = \xi_m, y = \eta_l$ , то при данном наблюдении  $U$  параметр  $\mu$  может иметь только значение  $\mu^*$ .

Таким образом, выражение (14) ставит в соответствие каждой точке пространства  $(\xi_m, \eta_l)$  и вектору  $U$  значение  $\mu$ , минимизирующее критерий (11). В результате каждому узлу  $(m, l)$  сетки ставится в соответствие скаляр  $\mu^*(\xi_m, \eta_l)$ , т. е. функция критерия (11) принимает вид

$$\Psi(\xi_m, \eta_l, \mu^*(\xi_m, \eta_l)) = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n \left( u_{ji} - \frac{\mu^*(\xi_m, \eta_l)}{R_i(\xi_m, \eta_l)} \right)^2 \rightarrow \min_{\xi_m, \eta_l}. \quad (15)$$

Таким образом функция  $\Psi$  в выражении (15) представляет собой функцию двух переменных  $\xi_m, \eta_l$ . Проходя по всем узлам сетки, определяется пара координат  $\xi_m^*$  и  $\eta_l^*$ , которые минимизируют функцию критерия максимального правдоподобия (15).

Оценка энергетического параметра среды, полученная в результате решения (13), имеет вид

$$\mu^*(\xi_m, \eta_l, U) = \frac{\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n \frac{u_{ji}}{R_i(\xi_m, \eta_l)}}{\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i^2(\xi_m, \eta_l)}}. \quad (16)$$

### 3. Обнаружение в зоне контроля

Процедура обнаружения в зоне контроля представляет собой статистическую задачу анализа гипотез. Пусть  $\Omega = \{m, l\}$  – множество узлов на охраняемой площадке (рис. 1), которые участвуют в образовании решения присутствия объекта в зоне контроля (ЗК) или зоне обнаружения (ЗО):

$\Omega_{ЗК} \in \Omega$ ,  $\Omega_{ЗК}$  – множество тех узлов  $\{m, l\}$ , которые входят в ЗК;

$\Omega_{30} \in \Omega$ ,  $\Omega_{30}$  – множество узлов, не входящих в ЗК (т. е. входящих в ЗО);

$$\Omega_{3К} \cup \Omega_{30} = \Omega.$$

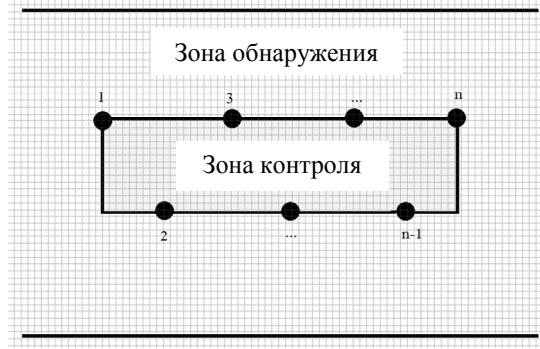


Рис. 1 – Разбиение сетки на области зоны контроля и зоны обнаружения

Fig. 1 – Splitting the grid into control zone areas and detection zones

Согласно выражению (10) в узловых точках с координатами  $(\xi_m, \eta_l)$  условная вероятность (функция правдоподобия)  $P(U|\xi_m, \eta_l, \mu)$ . Полагая  $\xi_m, \eta_l, \mu$  случайными величинами с равномерными распределениями в своих областях существования, можно определить апостериорное распределение вероятностей по формуле Байеса:

$$P(\xi_m, \eta_l, \mu|U) = \frac{P(U|\xi_m, \eta_l, \mu) \cdot P(\xi_m, \eta_l, \mu)}{P(U)},$$

$$P(\xi_m, \eta_l, \mu|U) = C \cdot P(U|\xi_m, \eta_l, \mu), \quad (17)$$

где  $c$  – нормирующий коэффициент вида

$$C = \frac{1}{\sum_{\xi_m} \sum_{\eta_l} \sum_{\mu} P(U|\xi_m, \eta_l, \mu)}. \quad (18)$$

Суммирование в выражении (18) ведется по всем значениям  $\xi_m, \eta_l, \mu$ .

Апостериорные вероятности нахождения объекта в зоне контроля  $P_{3К}$  и зоне обнаружения  $P_{30}$  из выражения (17):

$$P_{3К} = P\{(\xi_m, \eta_l) \in \Omega_{3К}\} = C \cdot \sum_{\Omega_{3К}} P(U|\xi_m, \eta_l, \mu), \quad (19)$$

$$P_{30} = P\{(\xi_m, \eta_l) \in \Omega_{30}\} = C \cdot \sum_{\Omega_{30}} P(U|\xi_m, \eta_l, \mu). \quad (20)$$

Их сравнение приводит к финальному решению:

$$P_{3К} > P_{30} \text{ – объект находится в ЗК,}$$

$$P_{3К} < P_{30} \text{ – объект находится в ЗО.}$$

#### 4. Исследование алгоритма обнаружения

Оценка эффективности работы алгоритма выполнена экспериментально с использованием записей сейсмических сигналов, полученных при помощи сейсмических приемных устройств с полосой частот 120 Гц, и оцифрованных с частотой дискретизации 600 Гц. Длительность локального интервала анализа составляла 1000 отсчетов, что соответствует 1,67 с реального времени. Записи были зарегистрированы при появлении в охраняемой зоне человека.

Исследование проводилось для двух типов объекта – статического и динамического. Под статическим понимается объект совершающий периодические импульсные сейсмические воздействия в фиксированной точке. Расстояние от места воздействия до датчиков постоянное, поэтому регистрируемые датчиками импульсы имеют одинаковую амплитуду. Объект считается динамическим, если он осуществляет проход по охраняемой зоне. В этом случае расстояние от точки воздействия объекта до датчика изменяется от большего значения к меньшему, а затем опять увеличивается. Это приводит к изменению амплитуд импульсов соответствующих шагам. Максимальное значение средней мощности импульса будет соответствовать точке наименьшего удаления объекта от датчика.

Для наглядного представления формирования в соответствии с выражениями (19), (20) апостериорных вероятностей  $P_{3K}$  и  $P_{3O}$  на рис. 2 представлены распределения вероятности нахождения статического объекта в каждой точке зоны наблюдения  $P(U|\xi_m, \eta_l, \mu)$  в зависимости от числа импульсов (шагов)  $K$  сигнала. При этом число активных сейсмических датчиков не менялось. Здесь градиациями серого цвета представлены вероятности нахождения объекта в каждой точке зоны наблюдения. Вероятность принадлежности к заданной области контроля определяется суммированием всех значений вероятности в каждой точке заданной области и сравнение ее со значением суммы вероятностей в зоне обнаружения.

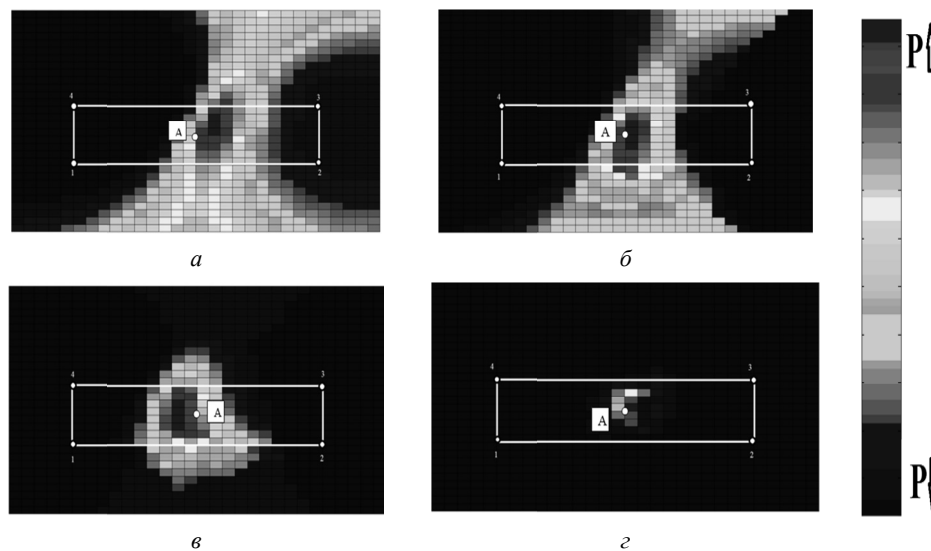


Рис. 2 – Распределение вероятности нахождения статического объекта в каждой точке зоны наблюдения при:

$a - K = 4$ ;  $б - K = 6$ ;  $в - K = 8$ ;  $г - K = 10$

Fig. 2 – The distribution of the probability of static object location at each point of the observation zone for:

$a - K = 4$ ;  $b - K = 6$ ;  $c - K = 8$ ;  $d - K = 10$

Из рис. 2 видно, что при увеличении числа шагов определение местоположения объекта сводится к небольшой области, в которой действительно находится объект. Для случая динамического объекта распределения вероятности нахождения в каждой точке зоны наблюдения имеют аналогичный характер, поэтому отдельно не приводятся.

На рис. 3 приведена зависимость вероятности ошибки принятия решения от числа шагов при фиксированном числе сейсмических датчиков  $n = 5$ , которые в совокупности образуют рабочую группу [1, 4]. На рис. 4 показана зависимость времени работы алгоритма от количества шагов  $K$ .

Анализируя совместно данные рис. 3 и 4, можно сделать вывод, что для получения оптимального результата необходимо выбирать значение  $6 \leq K \leq 8$ , поскольку при значениях  $K$  меньше шести частота принятия неправильных решений резко возрастает, а при значениях  $K$  больше восьми наблюдается значительное увеличение времени, затраченного алгоритмом на принятие решения, при этом вероятность ошибки существенно не меняется.

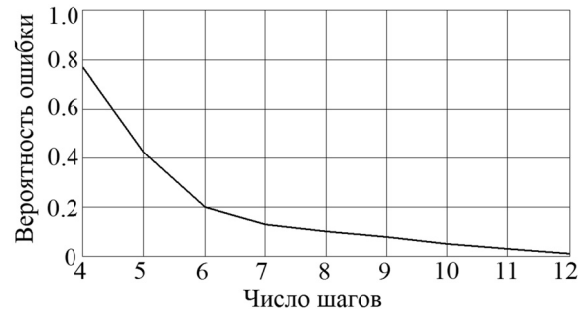


Рис. 3 – Вероятность ошибки принятия решения при воздействии объекта внутри зоны контроля

Fig. 3 – The probability of making an error when an object is exposed within the control zone

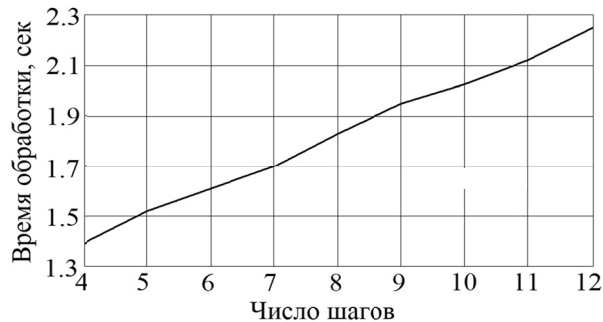


Рис. 4 – Зависимость времени принятия решения от числа анализируемых шагов

Fig. 4 – Dependence of decision-making time on the number of steps under analysis

### Заключение

Данная публикация представляет собой один из подходов, дающих возможность решения задачи при анализе сейсмической обстановки в реальном масштабе времени. Полученные результаты показывают, что алгоритм обнаружения объекта

в заданной области на основе энергетических статистик сигналов при достаточно простой практической реализации удовлетворяет требованиям, предъявляемым к подобным системам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Задачи и методы обработки сигналов в сейсмических системах наблюдения / К.Д. Гребенщиков, В.В. Коробов, А.Л. Мархакшинов, М.А. Райфельд, Д.О. Соколова, А.А. Спектор, Е.А. Тонконогов, С.Г. Филатова // Материалы X Международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения»: АПЭП-2010, 22–24 сентября 2010 г.: в 7 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – Т. 4. – С. 46–49.
2. **Филатова С.Г.** Точность оценки параметров движения неподготовленного нарушителя в сейсмической системе охраны // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2015. – № 4 (29). – С. 128–138. – doi: 10.17212/1727-2769-2015-4-128-138.
3. **Филатова С.Г.** Оценка длительностей импульсов в сейсмическом сигнале от шагов человека // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2015. – № 2 (27). – С. 128–136. – doi: 10.17212/1727-2769-2015-2-128-136.
4. **Соколова Д.О., Спектор А.А.** Непараметрическое обнаружение сейсмоактивных объектов с импульсным воздействием на грунт // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Радиолокационная техника (РЛТ). – 2014. – № 2. – С. 164–173.
5. **Спектор А.А., Филатова С.Г.** Оценка временного положения импульсов в сейсмических системах наблюдения на основе марковской фильтрации // Автометрия. – 2008. – Т. 44, № 4. – С. 68–74.
6. **Райфельд М.А., Спектор А.А.** Обнаружение сигналов движущегося человека в сейсмической системе наблюдения // Автометрия. – 2005. – Т. 41, № 6. – С. 88–97.
7. **Спектор А.А., Морозов Ю.В.** Оценка параметров движения автомобиля в пассивной сейсмической локации // Вопросы радиоэлектроники. – 2017. – № 4. – С. 99–101.
8. **Спектор А.А., Ларионова С.М.** Сейсмическое обнаружение объектов в выделенной части зоны действия на основе энергетических характеристик сигналов // Вопросы радиоэлектроники. – 2016. – № 4. – С. 105–108.
9. Краткая характеристика сейсмической системы охраны с цифровой обработкой сигналов / Д.О. Соколова, К.Д. Гребенщиков, М.А. Райфельд, А.А. Спектор, Е.А. Тонконогов // Электронные средства и системы управления. – 2007. – № 1. – С. 274–277.

ANALYSIS OF THE OBJECT LOCATION  
IN THE SPECIFIED AREA IN SEISMIC GUARD SYSTEMS

**Zima D.N., Sokolova D.O., Spector A.A.**

*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

One of the promising means of protecting long-range perimeters are passive location systems. These systems are based on recording a seismic signal of the offender. The main advantages of these systems are a passive operating principle and a high rate of masking. For an unprepared intruder, they make it impossible to detect an exact location of the installation and, therefore, prevent its insensible penetration into the protected area. Among the tasks tackled by such systems of great importance is the task of selective detection of an object in a certain part of the detection (control) zone. One of the basic requirements for the algorithms that solves this problem is to work in real time with a minimum delay. The proposed algorithm is based on the methods of statistical analysis of signals from seismic systems. The obtained research results show a fairly simple practical implementation and compliance with the requirements for such systems.

*Keywords:* seismic security systems, object detection, control area, detection area, the environment's energy parameter, posteriori probability.

DOI: 10.17212/1727-2769-2018-2-52-61



## REFERENCES

1. Grebenshchikov K.D., Korobov V.V., Markhakshinov A.L., Raifel'd M.A., Sokolova D.O., Spektor A.A., Tonkonogov E.A., Filatova S.G. [Problems and methods of signal processing in seismic surveillance systems]. *Materiyy X Mezhdunarodnoi konferentsii Aktual'nye problemy elektronnoy priborostroeniya, APEP-2010*. V 7 t. [Proceedings of 10<sup>th</sup> International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2010). In 7 vol.], Novosibirsk, 22–24 September 2010, vol. 4, pp. 46–49. (In Russian).
2. Filatova S.G. Tochnost' otsenki parametrov dvizheniya nepodgotovlennogo narushitelya v seismicheskoy sisteme okhrany [The precision of the estimation of trespasser movement parameters in the seismic guard system]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2015, no. 4 (29), pp. 128–138. doi: 10.17212/1727-2769-2015-4-128-138.
3. Filatova S.G. Otsenka dlitel'nostei impul'sov v seismicheskom signale ot shagov cheloveka [Pulse length estimation of seismic signal of human steps]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2015, no. 2 (27), pp. 128–136. doi: 10.17212/1727-2769-2015-2-128-136.
4. Sokolova D.O., Spektor A.A. Neparаметрическое обнаружение сейсмоактивных объектов с импульсным воздействием на грунт [Non-parametric detection of seismic objects with pulse influence on soil]. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Radiolokatsionnaya tekhnika (RLT) – Questions of radio electronics. Radar engineering*, 2014, no. 2, pp. 164–173.
5. Spector A.A., Filatova S.G. Estimating the time position of pulses in seismic observation systems based on Markovian filtering. *Avtometriya – Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2008, vol. 44, iss. 4, pp. 337–341. doi: 10.3103/S8756699008040080. Translated from *Avtometriya*, 2008, vol. 44, no. 4, pp. 68–74.
6. Raifel'd M.A., Spektor A.A. Obnaruzhenie signalov dvizhushchegosya cheloveka v seismicheskoy sisteme nablyudeniya [Detection of signals of a moving person in a seismic surveillance system]. *Avtometriya – Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2005, vol. 41, no. 6, pp. 88–97. (In Russian).
7. Spektor A.A., Morozov Yu.V. Otsenka parametrov dvizheniya avtomobilya v passivnoy seismicheskoy lokatsii [Estimation of the vehicle motion parameters in the passive seismic location]. *Voprosy radioelektroniki – Questions of radio electronics*, 2017, no. 4, pp. 99–101.
8. Spektor A.A., Larionova S.M. Seismicheskoe obnaruzhenie ob'ektov v vydelennoy chasti zony deystviya na osnove energeticheskikh kharakteristik signalov [Seismic detection of objects in the selected part of the coverage zone based on the energy characteristics of the signals]. *Voprosy radioelektroniki – Questions of radio electronics*, 2016, no. 4, pp. 105–108.
9. Sokolova D.O., Grebenshchikov K.D., Raifel'd M.A., Spektor A.A., Tonkonogov E.A. Kratkaya kharakteristika seismicheskoy sistemy okhrany s tsifrovoy obrabotkoy signalov [Brief description of the seismic system of protection by digital signal processing]. *Elektronnye sredstva i sistemy upravleniya – Electronic Devices and Control Systems*, 2007, no. 1, pp. 274–277.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**Зима Дарья Николаевна** – родилась в 1994 году, аспирант кафедры теоретических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: статистическая обработка сигналов. Опубликовано 5 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: d.zima@corp.nstu.ru).

**Zima Daria Nikolaevna** (b. 1994) – a postgraduate student at the department of radio engineering fundamentals in the Novosibirsk State Technical University. Her research interests are currently focused on statistical signal processing. She is the author of 5 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: d.zima@corp.nstu.ru).



**Соколова Дарья Олеговна** – родилась в 1984 году, канд. техн. наук, доцент кафедры теоретических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: статистическая обработка сигналов. Опубликовано 30 научных работ. (Адрес: 630073, России, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: d.sokolova@corp.nstu.ru).

**Sokolova Darya Olegovna** (b. 1984) – Candidate of Sciences (Eng.), associate professor at the department of radio engineering fundamentals in the Novosibirsk State Technical University. Her research interests are currently focused on statistical signal processing. She is the author of 30 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: d.sokolova@corp.nstu.ru).



**Спектор Александр Аншелевич** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: локационные, навигационные и инфокоммуникационные технологии, цифровые статистические методы обработки сигналов и изображений. Опубликовано около 200 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: spectoraa@mail.ru).

**Spector Alexander Anshelevich** – Doctor of Sciences (Eng.), professor, head of the department of radio engineering fundamentals in the Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on location, navigation, and information communication technologies, digital statistical methods of signal and image processing. He is the author of about 200 scientific papers (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russian Federation. E-mail: spectoraa@mail.ru).

*Статья поступила 10 мая 2018 г.  
Received May 10, 2018*

---

To Reference:

Zima D.N., Sokolova D.O., Spector A.A. Analiz nakhozhdeniya ob"ekta v zadannoi oblasti v seismicheskikh sistemakh okhrany [Analysis of the object location in the specified area in seismic guard systems]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2018, no. 2 (39), pp. 52–61. doi: 10.17212/1727-2769-2018-2-52-61.