

Для цитирования: Асланов Г.К., Асланов Т.Г., Курбанмагомедов К.Д., Шахтарин Б.И. Исследование зависимости ошибок в определении координат очага землетрясения от методов расчета (сфер и гиперboloидов). Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (4):87-98. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-87-98

For citation: Aslanov G.K., Aslanov T.G., Kurbanmagomedov K.D., Shakhtarin B.I. Investigation of the dependence of earthquake focus coordinate determination errors on calculation methods (spheres and hyperboloids). Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;44 (4):87-98. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-87-98

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 550.34.01

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-87-98

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОШИБОК В ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ОТ МЕТОДОВ РАСЧЕТА (СФЕР И ГИПЕРБОЛОИДОВ)

Асланов Г.К.¹, Асланов Т.Г.², Курбанмагомедов К.Д.³, Шахтарин Б.И.⁴

¹⁻²Дагестанский государственный технический университет,

¹⁻²367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

³Институт системных технологий,

³367015, г. Махачкала, пр. Али-Гаджи Акушинского, 21, Россия,

⁴Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,

⁴105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5 стр. 1, Россия,

¹⁻²e-mail: tabasik@gmail.com, ³e-mail: dimgou@mail.ru, ⁴e-mail: shakhtarin@mail.ru

Резюме: *Цель.* Статья является продолжением серии статей по анализу влияния типа используемых поверхностей второго порядка на точность определения координат эпицентра и гипоцентра землетрясения. **Метод.** Для нахождения плотности распределения вероятностей ошибок в определении гипоцентра землетрясения используются метод сфер, комбинированный метод сфер и гиперboloидов, а также метод гиперboloидов. Методы, используемые для определения координат гипоцентра, гиперboloиды, имеют меньшие ошибки по сравнению с методом сфер. Это объясняется тем, что при определении времен пробега сейсмических волн введено допущение, что прирост ошибки одинаков для разности времен прихода сейсмической волны к двум сейсмодатчикам для методов, использующих гиперboloид и для разности времен прихода двух сейсмических волн к сейсмодатчику, для методов использующих сферу. **Результат.** В работе получено выражение для определения координат очага землетрясения методом гиперboloидов, а также плотности распределения вероятностей ошибок в определении гипоцентра землетрясения при расчетах по методу сфер, по комбинированному методу сфер и гиперboloидов, а также по методу гиперboloидов. Составлен график распределения ошибок в определении гипоцентра землетрясения при разных размещениях сейсмодатчиков и для различных значений ошибок в определении разностей времен пробега сейсмических волн. **Вывод.** Полученные зависимости имеют вид распределения ошибок, близких к распределению Коши. Всплеск в районе нуля у всех распределений получен в результате расчетов координат очага землетрясения при отсутствии ошибок в определении разности времен. Комбинированный метод гиперboloида и сферы имеет форму распределения близкую к методу гиперболы и кривую распределения в районе, близкому к нулю, схожую с методом сфер.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмодатчик, ошибка, уравнение, гиперboloид, сфера, ПРВ

TECHNICAL SCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF EARTHQUAKE FOCUS COORDINATE
DETERMINATION ERRORS ON CALCULATION METHODS
(SPHERES AND HYPERBOLOIDS)

Gaidarbek K. Aslanov¹, Tagirbek G. Aslanov²,
Kurbanmagomed D. Kurbanmagomedov³, Boris I. Shakhtarin⁴

¹⁻²Daghestan State Technical University,
¹⁻²70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

³Institute of System Technologies,
³21 Ali-Haji Akushinsky Ave., Makhachkala 367015, Russia,

⁴Bauman Moscow State Technical University,
⁴5/1 2-ya Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russia,

¹⁻²e-mail: tabasik@gmail.com, ³e-mail: dimgou@mail.ru, ⁴e-mail: shakhtarin@mail.ru

Abstract. Objectives This work is a continuation of a series of articles devoted to an analysis of the effect of the utilised second-order surface types on the accuracy of determining earthquake epicentre and hypocentre coordinates. **Methods** In order to find the density of error probability distribution during the determination of earthquake hypocentres, approaches using spheres, hyperboloids, as well as combined spheres and hyperboloids, are used. The hyperboloid-based methods used for determining hypocentre coordinates have fewer errors as compared to the sphere-based method. This is explained by the fact that when determining the travel times of seismic waves, it is assumed that the error increase is the same for the difference in the seismic wave arrival times to two seismic sensors (for methods using hyperboloid), and for the difference in the arrival times of the two seismic waves to the one seismic sensor (for methods using spheres). **Results** The expression for determining the earthquake focus coordinates by the hyperboloid method, as well as the density of error probability distribution during the earthquake hypocentre determination, is obtained for calculations using the sphere method, the hyperboloid method, as well as the combined sphere and hyperboloid method. A graph for the error distribution when determining the earthquake hypocentre is obtained for different locations of seismic sensors and for various error values concerning differences in the travel times of seismic waves. **Conclusion** The obtained dependencies have the form of an error distribution close to the Cauchy distribution. A wavelet in the zero regions for all distributions was obtained as a result of calculations of the earthquake focus coordinates in the absence of errors in the determination of the time difference. The combined method of the hyperboloid and the sphere has a distribution form close to the hyperboloid method, while the distribution curve in the region close to zero is similar to the sphere method.

Keywords: earthquake, seismic sensor, error, equation, hyperboloid, sphere, probability distribution density

Введение. В настоящее время разработаны программы [6-9], позволяющие по магнитуде землетрясения, глубине его очага, плотности населения в районе землетрясения, типам застроек [10-12], времени суток и т.д. оценить людские потери [13], что позволяет оперативно решить вопрос о количестве привлекаемых к спасательным работам людских, материальных и технических ресурсов. Однако оценки потерь иногда не соответствуют действительности, в основном, из-за неверного определения глубины очага и эпицентра землетрясения [14-20].

Определение координат очага землетрясения, в основном, производится по разности времен пробега поперечной и продольной сейсмических волн на разнесенные в пространстве сейсмодатчики [21-22]. При этом основную ошибку в определении координат очага землетрясения вносит неверный выбор сейсмодатчиков [1-2, 19, 22-23].

В работе получены плотности распределения вероятностей ошибок в определении гипо-

центра землетрясения при расчетах по методу сфер [3], по комбинированному методу сфер и гиперboloидов [2 - 4], а также по методу гиперboloидов.

Постановка задачи. Для нахождения плотности распределения вероятностей ошибок в определении гипоцентра землетрясения используются метод сфер, комбинированный метод сфер и гиперboloидов, а также метод гиперboloидов. Во всех методах для определения гипоцентра землетрясения в качестве исходных данных используются значения скоростей поперечной и продольной сейсмических волн [21]. Кроме скоростей сейсмических волн, в методе сфер используются значения разностей времен прихода продольной и поперечной сейсмических волн на сейсмодатчики, в комбинированном методе сфер и гиперboloидов используются разности времен прихода продольной и поперечной волн на опорный сейсмодатчик и разность времен прихода продольной волны к двум разнесенным сейсмодатчикам, а в методе гиперboloидов используется разность времен прихода продольной волны к каждой паре из четырех сейсмодатчиков.

Во всех рассматриваемых методах задается ошибка в определении разностей времен. По исходным данным, с учетом ошибок в определении разностей времен и без них, определяются глубины и эпицентры землетрясения. Разность значений глубин и эпицентров землетрясения определяют невязку.

Методы исследования. В работе [3] получена формула, позволяющая вычислить координаты очага землетрясения методом сфер:

$$\begin{cases} X = \frac{R_2^2 Y_3 - Y_3 X_2^2 - Y_2^2 Y_3 - Y_2 X_3^2 + Y_3^2 Y_2 + R_1^2 Y_2 - R_3^2 Y_2 - R_1^2 Y_3}{2(Y_2 X_3 - X_2 Y_3)} \\ Y = \frac{R_2^2 X_3 - X_3 Y_2^2 - X_2^2 X_3 - X_2 Y_3^2 + X_3^2 X_2 + R_1^2 X_2 - R_3^2 X_2 - R_1^2 X_3}{2(X_2 Y_3 - Y_2 X_3)} \\ Z = \sqrt{R_1^2 - X^2 - Y^2} \end{cases}$$

где X, Y, Z – координаты гипоцентра землетрясения;

X_i, Y_i – координаты соответственно второго и третьего сейсмодатчика;

R_i – радиусы сфер, в центрах которых расположены сейсмодатчики с радиусами равными расстоянию до гипоцентра землетрясения, которые определяются формулой $R_i = t_i V_1 V_2 / (V_2 - V_1)$;

V_1, V_2 – скорости соответственно поперечной и продольной волны;

t_i – разность времен прихода сейсмических волн к сейсмодатчику.

В свидетельстве на государственную регистрацию программы ЭВМ [4] приведена формула, позволяющая вычислить координаты очага землетрясения комбинированным методом сфер и гиперboloида:

$$\begin{cases} X = \frac{X_2^2 (V_1 - V_2) - t_r^2 V_1^2 (V_1 - V_2) - 2t_r t_1 V_1^2 V_2}{2X_2 (V_1 - V_2)} \\ Y = \frac{(X_3 - X)^2 + Y_3^2 + R_1^2 - X^2 - R_3^2}{2Y_3} \\ Z = \sqrt{R_1^2 - X^2 - Y^2} \end{cases}$$

где t_r – разность времен прихода продольной сейсмической волны к двум сейсмодатчикам.

Следует отметить, что в приведенных двух формулах расчета гипоцентра, первый сейсмодатчик принят за опорный и расположен в начале координат, а при комбинированном методе, считается, что второй сейсмодатчик расположен на оси абсцисс.

Задавая ошибку в определении разности времен прихода сейсмических волн можно определить координаты гипоцентра с учетом ошибки.

Разность координат очага землетрясения, вычисленная с учетом ошибок в измерении времен прихода сейсмических волн и без них, позволяет определить зависимость ошибки в определении гипоцентра землетрясения от значений ошибок в измерении разностей времен прихода сейсмических волн.

В этом случае ставится задача, получить выражение для определения координат очага землетрясения методом гипербол.

На рис.1 приведено пространственное расположение координат сейсмодатчиков и очага землетрясения. На рис. 1а приведено расположение четырех сейсмодатчиков D_i и эпицентра землетрясения O' с видом сверху.

На рис. 1б приведена косоугольная проекция для двух сейсмодатчиков и очага землетрясения, где буквой O обозначен очаг землетрясения.

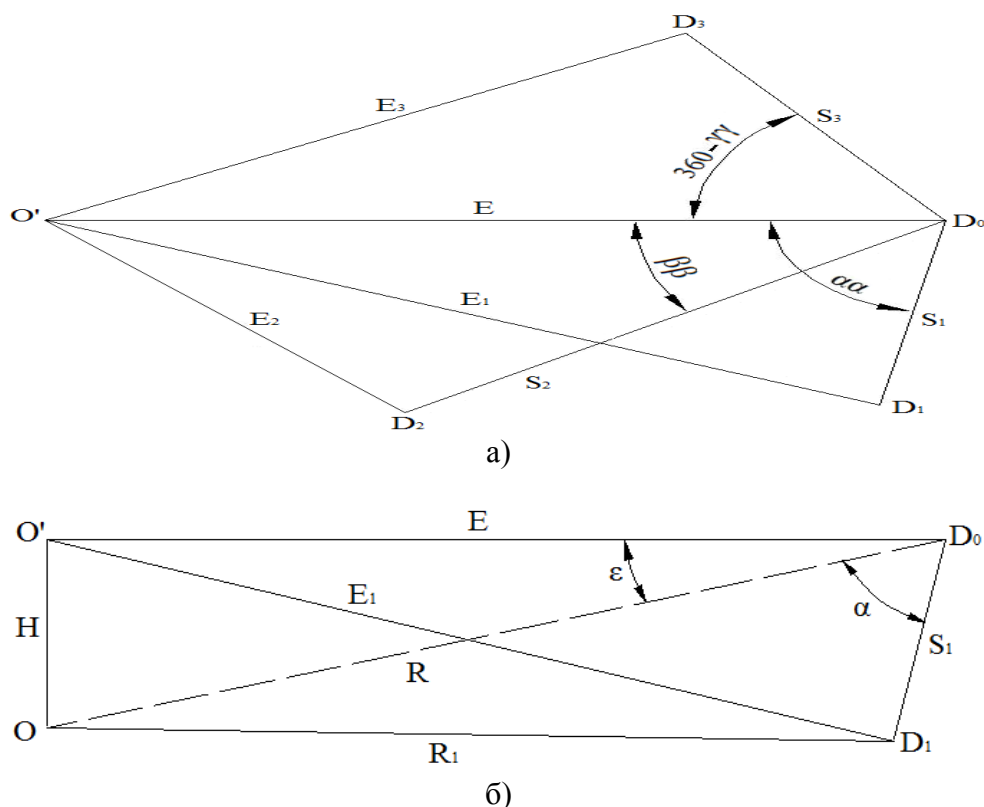


Рис.1. Пространственное расположение сейсмодатчиков и очага землетрясения
Fig.1. Spatial location of seismic and earthquake sources

По теореме Пифагора имеем:

$$H^2 + E^2 = R^2; \quad (1)$$

$$H^2 + E_1^2 = R_1^2; \quad (2)$$

где H – глубина очага землетрясения;

E_i – расстояния от эпицентра землетрясения O' до сейсмодатчиков D_i ;

R_i – расстояния от очага землетрясения O до сейсмодатчиков D_i .

По теореме косинусов получим:

$$S_1^2 + R^2 - 2S_1R \cos \alpha = R_1^2;$$

$$S_1^2 + E^2 - 2S_1E \cos \alpha\alpha = E_1^2$$

где S_i – расстояния между опорным сейсмодатчиком D_0 и остальными сейсмодатчиками;

α – угол, образованный между очагом землетрясения и первым сейсмодатчиком с вершиной, в точке расположения опорного сейсмодатчика;

$\alpha\alpha$ – угол, образованный между эпицентром землетрясения и первым сейсмодатчиком, с вершиной в точке расположения опорного сейсмодатчика.

Переносим в левую часть косинусы углов, получим

$$\cos \alpha = \frac{S_1^2 + R^2 - R_1^2}{2S_1R} \quad (3)$$

$$\cos \alpha\alpha = \frac{S_1^2 + E^2 - E_1^2}{2S_1E} \quad (4)$$

Подставляя уравнения (1) и (2) в уравнение(4), получим

$$\cos \alpha\alpha = \frac{S_1^2 + R^2 - R_1^2}{2S_1\sqrt{R^2 - H^2}} \quad (5)$$

Определим расстояние R_1 через расстояние R и разности расстояний ΔR_1 , из уравнений (3) и (5)

$$\cos \alpha = \frac{S_1^2 + \Delta R_1(2R - \Delta R_1)}{2S_1R} \quad (6)$$

$$\cos \alpha\alpha = \frac{S_1^2 + \Delta R_1(2R - \Delta R_1)}{2S_1\sqrt{R^2 - H^2}} \quad (7)$$

Разделим уравнение (6) на уравнение (7), получим

$$\frac{\cos \alpha}{\cos \alpha\alpha} = \sqrt{1 - H^2/R^2} \quad (8)$$

Произведя замену в уравнении (8) H/R на $\sin \varepsilon$, после некоторых преобразований получим

$$\cos \alpha = \cos \alpha\alpha \cos \varepsilon \quad (9)$$

где ε – угол, образованный между эпицентром и гипоцентром землетрясения с вершиной угла, в точке расположения опорного сейсмодатчика

Аналогично, получим уравнения и для углов β и γ

$$\cos \beta = \cos \beta \cos \varepsilon \quad (10)$$

$$\cos \gamma = \cos \gamma \cos \varepsilon \quad (11)$$

Уравнение гиперболы, с фокусами в точках расположения опорного и первого сейсмодатчиков в полярной системе координат имеет вид [2]:

$$R = \frac{S_1^2 - (\Delta t_1 V_1)^2}{2\Delta t_1 V_1 + 2S_1 \cos \alpha} \quad (12)$$

где V_1 – скорость продольной сейсмической волны;
 Δt_1 – разность времен прихода продольной сейсмической волны к опорному и первому сейсмодатчику.

Задача определения местоположения объекта на плоскости решена в [2], для перехода в трехмерное пространство произведем подстановку уравнений (9) – (11) в уравнения гипербол, образованных опорным и остальными тремя сейсмодатчиками, при этом, произведя замену $\Delta t_i V_i$ на разность расстояний S_i , получим

$$R = \frac{S_1^2 - \Delta S_1^2}{2(\Delta S_1 + S_1 \cos \alpha \cos \varepsilon)} \quad (13)$$

$$R = \frac{S_2^2 - \Delta S_2^2}{2(\Delta S_2 - S_2 \cos \beta \cos \varepsilon)} \quad (14)$$

$$R = \frac{S_3^2 - \Delta S_3^2}{2(\Delta S_3 - S_3 \cos \gamma \cos \varepsilon)} \quad (15)$$

Подставим в уравнения (13) – (15) выражения $\beta \cos \varepsilon - \alpha \cos \varepsilon = \alpha \beta$ и $\gamma \cos \varepsilon - \alpha \cos \varepsilon = \alpha \gamma$, и разделим полученные уравнения на R , получим

$$R = \frac{S_1^2 - \Delta t_1^2 + 2S_1 \cos \alpha \alpha E}{2\Delta t_1} \quad (16)$$

$$R = \frac{S_2^2 - \Delta t_2^2 + 2S_2 \cos(\alpha \beta + \alpha \alpha) E}{2\Delta t_2} \quad (17)$$

$$R = \frac{S_3^2 - \Delta t_3^2 + 2S_3 \cos(\alpha \gamma + \alpha \alpha) E}{2\Delta t_3} \quad (18)$$

Перенесем в левую часть уравнения (16) расстояние до эпицентра E , и подставим полученное выражение в уравнения (17) и (18).

$$E = \frac{2\Delta t_1 R - S_1^2 + \Delta t_1^2}{2S_1 \cos \alpha}$$

$$R = \frac{S_2^2 S_1 - \Delta t_2^2 S_1 + S_2 (\cos \alpha \beta + \sin \alpha \beta \tan \alpha \alpha) (2 \Delta t_1 R - S_1^2 + \Delta t_1^2)}{2 \Delta t_2 S_1} \quad (19)$$

$$R = \frac{S_3^2 S_1 - \Delta t_3^2 S_1 + S_3 (\cos \alpha \gamma + \sin \alpha \gamma \tan \alpha \alpha) (2 \Delta t_1 R - S_1^2 + \Delta t_1^2)}{2 \Delta t_3 S_1} \quad (20)$$

Из уравнения (19) найдем угол $\tan \alpha \alpha$,

$$\tan \alpha \alpha = \frac{2 R \Delta t_2 S_1 - S_2^2 S_1 + \Delta t_2^2 S_1 - S_2 \cos \alpha \beta (2 \Delta t_1 R - S_1^2 + \Delta t_1^2)}{S_2 \sin \alpha \beta (2 \Delta t_1 R - S_1^2 + \Delta t_1^2)} \quad (21)$$

Подставив уравнение (21) в (20), после некоторых преобразований получим:

$$R = (S_1 S_2 S_3 (S_3 \sin \alpha \beta - S_2 \sin \alpha \gamma) + S_1 (\Delta t_2^2 S_3 \sin \alpha \gamma - \Delta t_3^2 S_2 \sin \alpha \beta) + S_1^2 S_3 S_2 \sin(\alpha \gamma - \alpha \beta) + \Delta t_1^2 S_3 S_2 \sin(\alpha \beta - \alpha \gamma)) / (2 \Delta t_1 S_2 S_3 \sin(\alpha \gamma - \alpha \beta) + 2 S_1 (\Delta t_3 S_2 \sin \alpha \beta - \Delta t_2 S_3 \sin \alpha \gamma)) \quad (22)$$

Уравнение (22) позволяет определить расстояние от опорного сейсмодатчика до очага землетрясения. Поскольку нам известны разности времен прихода сейсмической волны к опорному и к остальным сейсмодатчикам, то можно найти расстояния от очага землетрясения и до остальных сейсмодатчиков:

$$R_1 = \Delta t_1 V_1 + R; R_2 = \Delta t_2 V_1 + R; R_3 = \Delta t_3 V_1 + R;$$

Для проведения сравнительного анализа с результатами работ [3-5] необходимо определить координаты очага методом гипербол в декартовых координатах.

Для этого воспользуемся формулой, приведенной в работе [3]:

$$X = \frac{R_2^2 Y_3 - Y_3 X_2^2 - Y_2^2 Y_3 + Y_2 X_3^2 + Y_3^2 Y_2 + R_1^2 Y_2 - R_3^2 Y_2 - R_1^2 Y_3}{2(Y_2 X_3 - Y_3 X_2)};$$

$$Y = \frac{R_2^2 X_3 - X_3 Y_2^2 - X_2^2 X_3 + X_2 Y_3^2 + X_3^2 X_2 + R_1^2 X_2 - R_3^2 X_2 - R_1^2 X_3}{2(X_2 Y_3 - X_3 Y_2)};$$

$$Z = \sqrt{R_1^2 - X^2 - Y^2}.$$

Для получения плотности распределения ошибки в определении очага землетрясения зададим область размерами 150 на 150 км, в которой будем менять взаимное расположение сейсмодатчиков. Примем за координаты очага землетрясения $X = 75$ км., $Y = 75$ км., $Z = 10$ км.

На рис.2 и 3 приведены нормированные плотности распределения ошибки в определении гипоцентра землетрясения. Для получения распределения производилось определение координат очага землетрясения с изменением координат сейсмодатчиков с шагом 18,75 км, также были введены преднамеренные ошибки в определении разности времен, по разности координат очагов землетрясений с ошибкой и без нее, и была получена дисперсия.

На рис.2, кривой 1 соответствует метод сфер, кривой 2 – комбинированный метод сфер и гиперболоида, а кривой 3 – метод гипербол.

При расчете производилось изменение ошибки в определении разности времен прихода сейсмических волн в интервале от -0.5 до 0.5 с шагом 0.25 с.

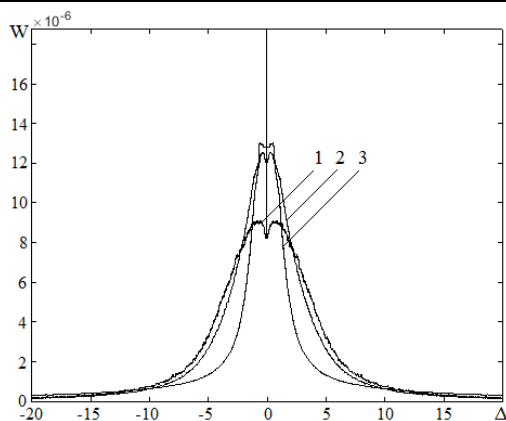
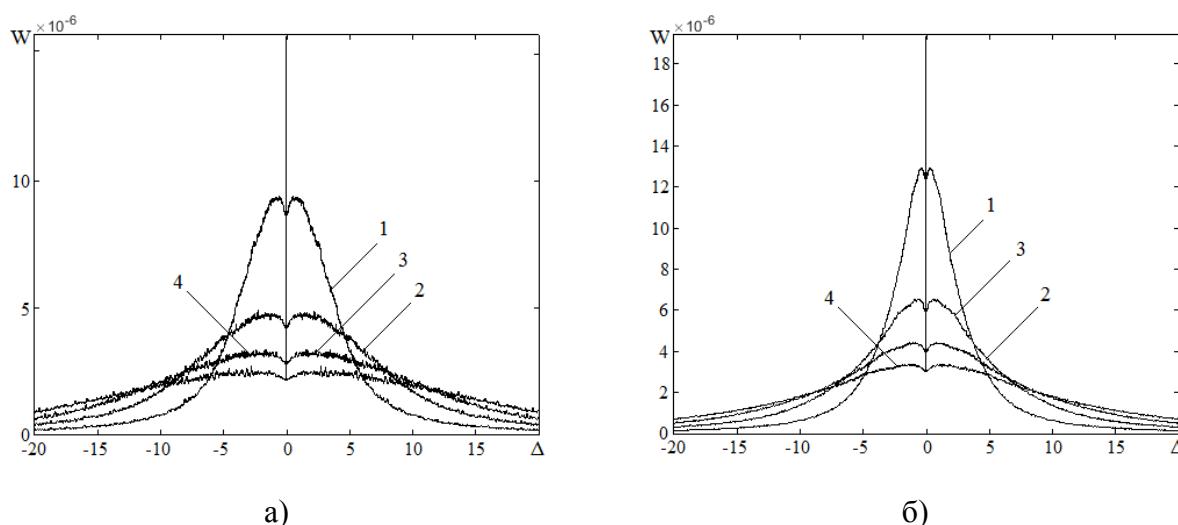


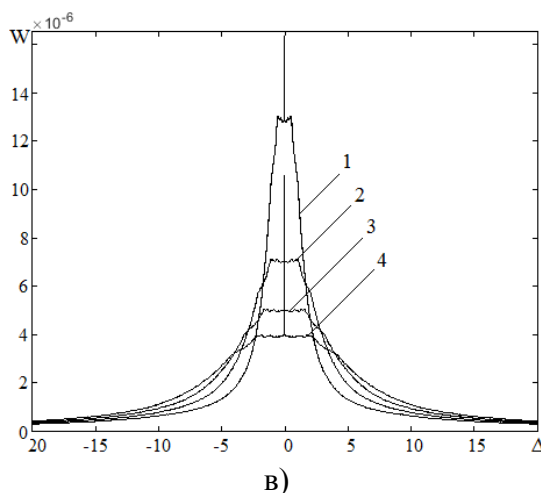
Рис.2. Плотность распределения ошибок в определении гипоцентра землетрясения тремя методами

Fig. 2. Density of error distribution in determining the hypocentre of the earthquake by three methods



а)

б)



в)

Рис. 3. Плотность распределения ошибок в определении гипоцентра землетрясения тремя методами с различными интервалами ошибок в определении разности времен прихода сейсмических волн

Fig. 3. Error distribution density in the determination of the earthquake hypocenter by three methods with different error intervals in determining the difference in arrival times of seismic waves

На рис. 3 кривой 1 соответствует изменение ошибки в определении разности времен прихода сейсмических волн в интервале от -0.5 до 0.5 с шагом 0.25 с, кривой 2 – изменение

ошибки в определении разности времен прихода сейсмических волн в интервале от - 1 до 1 с шагом 0.5 с, кривой 3 – изменение ошибки в определении разности времен прихода сейсмических волн в интервале от - 1.5 до 1.5 с шагом 0.75 с и кривой 4 – изменение ошибки в определении разности времен прихода сейсмических волн в интервале от - 2 до 2 с шагом 1 с.

На рис. 3а приведено распределение ошибок в определении гипоцентров землетрясений методом сфер, на рис. 3б – для комбинированного метода сфер и гиперблоида и на рис. 3в – для метода гиперблоидов.

Обсуждение результатов. В результате выполненной работы предложен метод определения координат очага землетрясения с использованием гиперблоидов, а также получены плотности распределения ошибок в определении гипоцентра землетрясения.

Из рис. 2 видно, что методы, использующие для определения координат гипоцентра гиперблоид, имеют меньшие ошибки по сравнению с методом сфер. Это объясняется тем, что при определении времен было введено допущение, что прирост ошибки одинаков для разности времен прихода сейсмической волны к двум сейсмодатчикам для методов использующих гиперблоид и для разности времен прихода двух сейсмических волн к сейсмодатчику для методов, использующих сферу.

Следует отметить, что если при использовании для определения гипоцентра землетрясения разности времен пробега продольной и поперечной сейсмических волн к одному и тому же сейсмодатчику эти волны проходят по близким трассам, то при определении координат гипоцентра по разностям времен пробега сейсмической волны к разным сейсмодатчикам, сейсмическая волна распространяется по разным трассам. Это приводит к тому, что скорости сейсмических волн на разных участках распространения различны из-за различий в структуре земных пород, что в конечном итоге приводит к более существенным ошибкам в определении разности времен.

Вывод.

1. Все полученные зависимости имеют вид распределения ошибок, близкий к распределению Коши.
2. Всплеск в районе нуля у всех распределений получен в результате расчетов координат очага землетрясения при отсутствии ошибок в определении разности времен.
3. Комбинированный метод гиперблоида и сферы имеет форму распределения, близкую к методу гиперблоида и кривую распределения в районе, близкому к нулю, схожую с методом сфер.

Библиографический список:

1. Асланов Т.Г., Магомедов Х.Д., Мусаева У.А., Тагиров Х.Ю. Влияние пространственного расположения сейсмодатчиков на точность определения гипоцентра землетрясения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;43 (4):73-84. DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-73-84
2. Асланов Т.Г. Определение координат очага землетрясения с использованием комбинированного метода. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (2):118-125. DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-2-118-125
3. Асланов Т.Г., Даниялов М.Г., Магомедов Х.Д., Асланов Г.К. Об одном методе определения очага землетрясения с одновременным определением скоростей сейсмических волн // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН, Материалы. Издательство ДНЦ РАН. Махачкала 2010. – С. 54-59.
4. Определение координат гипоцентра землетрясения при использовании комбинированного метода сфер и гиперблоида: свид. о гос. рег. прогр. ЭВМ № 2017616673 Рос. Федерация / Асланов Т.Г., Давудова Д.Д., Мирзаханова Л.С.; заявитель и правообладатель ВГУЮ (РПА Минюста России). - № 2017611151; заявл. 13.02.17; опубл. 09.07.17.
5. Шахриманьян М.А., Нигметов Г.М., Сосунов И.В. Математическое моделирование как способ поддержки принятия решений в случае возникновения чрезвычайных ситуаций // Каталог «Пожарная безопасность» - 2003. – С. 240-241.
6. Гитис В.Г., Ермаков Б.В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике / В.Г. Гитис, Б.В. Ермаков — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.— 256 с.

7. Jing Z., Laurie G. B., Magaly K.. Mapping earthquake induced liquefaction surface effects from the 2011 Tohoku earthquake using satellite imagery // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 2328 - 2331
8. Rui J., Shuanggen J. Ionospheric acoustic and rayleigh waves detected by GPS following the 2005 Mw=7.2 northern California earthquake // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 3956 – 3959
9. Aixia D., Xiaoqing W., Xiaoxiang Y., Shumin W. The loss assessment method of building earthquake damage using The Remote Sensing and building grid data // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 4255 - 4258
10. Wei Z., Huan-Feng Sh., Chun-Lin H., Wan-Sheng P. Building damage information investigation after earthquake using single post-event PolSAR image // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 7338 – 7341
11. Hao D., Xin X., Rong G., Chao S., Haigang S. Metric learning based collapsed building extraction from post-earthquake PolSAR imagery // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 4742 - 4745
12. Liu L. B., Liu M., Wang J. Q. Electromagnetic environment comprehension for radar detection of vital signs at China National Training Center for earthquake search & rescue // 2016 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), 2016, pp. 1-4
13. Радоуцкий, В.Ю. Опасные природные процессы: учеб. пособие / В.Ю. Радоуцкий, Ю.В. Ветрова, Д.И. Васюткина; под ред. В.Ю. Радоуцкого. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 206 с.
14. Архангельский В.Т., Веденская И.А., Гайский В.Н. Руководство по производству и обработке наблюдений на сейсмических станциях СССР / Акад. наук СССР. Совет по сейсмологии. - Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1954
15. Добровольский И.П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. / И.П. Добровольский— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. —240 с.
16. Гуревич П.С. Психология чрезвычайных ситуаций учебное пособие/ П.С, Гуревич — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012.— 495 с.
17. Мкртычев О.В. Безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях: монография/ О.В. Мкртычев — М.: МГСУ, 2010.— 152 с.
18. Асланов Т.Г., Тагиров Х.Ю., Асланов Г.К., Алимерденов В.Ш. Математическая модель расчета энергетического класса, интенсивности и магнитуды землетрясения в реальном масштабе времени // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №2 (37), 2015 – Махачкала: ДГТУ, 2015. – С. 66-71
19. Асланов Т.Г. Разработка алгоритма определения координат очага землетрясения, с одновременным определением скоростей сейсмических волн // Научные труды молодых исследователей программы «Шаг в будущее». Том 8. «Профессионал». Москва. 2005. – С. 32-34.
20. Rahinul H., Shoab H., Akter S., Asadullahil G., Tahia F. K.. Earthquake monitoring and warning system // 2015 International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), 2015, pp. 109 - 112
21. Alphonsa A., Ravi G. Earthquake early warning system by IOT using Wireless sensor networks // 2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), 2016, pp. 1201 – 1205.
22. Асланов Т.Г., Алимерденов В.Ш. Определение структуры земли по статистическим данным времен прихода сейсмических волн произошедших землетрясений // Старт в будущее – 2013. Труды III научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Санкт-Петербург.
23. Асланов Г.К., Гаджиев М.М., Исмаилов Т.А., Магомедов Х.Д. О землетрясениях (прошлое и современность). – Махачкала, Информационно полиграфический центр ДГТУ. 2001.

References:

1. Aslanov T.G., Magomedov Kh.D., Musaeva U.A., Tagirov Kh.Yu. Vliyaniye prostranstvennogo raspolozheniya seismodatchikov na tochnost' opredeleniya gipotsentra zemletryaseniya. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki. 2016;43(4):73-84. DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-73-84 [Aslanov T.G., Magomedov Kh.D., Musaeva U.A., Tagirov Kh.Yu. Influence of the spatial arrangement of seismic sensors on the accuracy of determining the hypocentre of an earthquake. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;43(4):73-84. DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-73-84 (In Russ.)]
2. Aslanov T.G. Opredelenie koordinat ochaga zemletryaseniya s ispol'zovaniem kombinirovannogo metoda. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki. 2017;44(2):118-125. DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-2-118-125 [Aslanov T.G. Definition of earthquake focus coordinates using a combined method. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44(2):118-125. DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-2-118-125 (In Russ.)]
3. Aslanov T.G., Daniyalov M.G., Magomedov Kh.D., Aslanov G.K. Ob odnom metode opredeleniya ochaga zemletryaseniya s odnovremennym opredeleniem skorostey seysmicheskikh voln. Trudy institute geologii Dage-

- stanskogo nauchnogo tsentra RAN, Materialy. Makhachkala: Izdatelstvo DNTs RAN; 2010. 54-59. [Aslanov T.G., Daniyalov M.G., MagomedovKh.D., Aslanov G.K. About the method of seismic center determination with simultaneous definition of speeds of seismic waves. Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Makhachkala: DSCRAS Publ.; 2010. 54-59. (In Russ.)]
4. Aslanov T.G., Davudova D.D., Mirzakhanova L.S. Opredelenie koordinat gipotsentra zemletryaseniya prii spol'zovaniy kombinirovannogo metoda sfer i giperboloida: svid. o gos. reg. progr. EVM № 2017616673 Ros. Federatsiya / zayavitel' i pravoobladatel' VGUYu (RPA MinyustaRossii). № 2017611151; zayavl. 13.02.17; opubl. 09.07.17. [Aslanov T.G., Davudova D.D., Mirzakhanova L.S. Determination of the coordinates of the earthquake hypocenter using the combined method of spheres and hyperboloid: programme state registration EVM № 2017616673 Russian Federation / applicant and owner VGUYu № 2017611151; applied 13.02.17; publ. 09.07.17. (In Russ.)]
 5. Shakhriyan'yan M.A., Nigmatov G.M., Sosunov I.V. Matematicheskoe modelirovanie kak sposob podderzhki pri nyatiyaresheniy v sluchae vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy. Katalog «Pozharnaya bezopasnost'»; 2003. S. 240-241. [Shakhriyan'yan M.A., Nigmatov G.M., Sosunov I.V. Mathematical modeling as a method of decision-making support in case of emergency situation arising. Catalogue «Firesafety»; 2003. P. 240-241. (inRuss.)]
 6. Gitis V.G., Ermakov B.V. Osnovy prostranstvenno-vremennogo prognozirovaniya v geoinformatike. M.: FIZMATLIT; 2004. 256 s. [Gitis V.G., Ermakov B.V. Fundamentals of spatial-time prognosis in geoinformatics. Moscow: FIZMATLIT; 2004. 256 p. (In Russ.)]
 7. Jing Z., Laurie G. B., Magaly K. Mapping earthquake induced liquefaction surface effects from the 2011 Tohoku earthquake using satellite imagery. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2016. pp. 2328 – 2331.
 8. Rui J., Shuanggen J. Ionosphericacousitc and rayleigh waves detected by GPS following the 2005 Mw=7.2 northern California earthquake. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2016. pp. 3956 – 3959.
 9. Aixia D., Xiaoqing W., Xiaoxiang Y., Shumin W. The loss assessment method of building earthquake damage using The Remote Sensing and building grid data. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2016. pp. 4255 – 4258.
 10. Wei Z., Huan-Feng Sh., Chun-Lin H., Wan-Sheng P. Building damage information investigation after earthquake using single post-event PolSAR image. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2016. pp. 7338 – 7341.
 11. Hao D., Xin X., Rong G., Chao S., Haigang S. Metric learning based collapsed building extraction from post-earthquake PolSAR imagery. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2016. pp. 4742 – 4745.
 12. Liu L. B., Liu M., Wang J.Q. Electromagnetic environment comprehension for radar detection of vital signs at China National Training Center for earthquake search & rescue. 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR). 2016. pp. 1-4.
 13. RadoutskiiV.Yu., VetrovaYu.V., Vasyutkina D.I. Opasnyeprirodnyprotsessy: uchebnoeposobie (Pod red. V.Yu. Radoutskogo). Belgorod: Izd-vo BGTU; 2013. 206 s. [RadoutskiiV.Yu., VetrovaYu.V., Vasyutkina D.I. Dangerous natural processes: a manual (Edited by V.Yu. Radoutskii). Belgorod: Izd-vo BGTU; 2013. 206 p. (In Russ.)]
 14. Arkhangel'skiy V.T., Vedenskaya I.A., Gayskiy V.N. Rukovodstvo po proizvodstvu i obrabotke nablyudeniyna seysmicheskikh stantsiyakh SSSR. Akad. nauk SSSR. Sovetposeysmologii. Moskva: Izd-voAkad. nauk SSSR; 1954. [Arkhangel'skiy V.T., Vedenskaya I.A., Gayskiy V.N. Observation performance and processing guide on the seismic stations of USSR. USSR Academy of Sciences. Seismology Board. Moscow: Izd-voAkad. nauk SSSR; 1954. (In Russ.)]
 15. Dobrovolskii I.P. Matematicheskaya teoriya podgotovki i prognoza tektonicheskogo zemletryaseniya. M.: FIZMATLIT; 2009. 240 s. [Dobrovolskii I.P. Mathematical theory of preparation and forecast of a tectonic earthquake. M.: FIZMATLIT; 2009. 240 p. (In Russ.)]
 16. Gurevich P.S. Psikhologiya chrezvychainykh situatsii. Uchebnoeposobie. M.: YuNITI-DANA; 2012. 495 s. [Gurevich P.S. Psychology of emergency situations. Tutorial. M.: YuNITI-DANA; 2012. 495 p. (in Russ.)]
 17. Mkrtychev O.V. Bezopasnost' zdaniy i sooruzheniypriseysmicheskikh i avariynykhvozdeystviyakh. M.: MGSU; 2010. 152 s. [Mkrtychev O.V. Safety of buildings and constructions during seismic and emergency impacts. Moscow: MGSU; 2010. 152 p. (In Russ.)]
 18. Aslanov T.G., TagirovKh.Yu., Aslanov G.K., AlimerdenovV.Sh. Matematicheskaya model' rascheta energeticheskogo klassa, intensivnosti i magnitudy zemletryaseniya v real'nom masshtabe vremeni. VestnikDagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki. 2015;2(37):66-71. [Aslanov T.G., TagirovKh.Yu., Aslanov G.K., AlimerdenovV.Sh. Mathematical model for calculating the energy class, intensity and magnitude of an earthquake in real time. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2015;2(37):66-71. (In Russ.)]
 19. Aslanov T.G. Razrabotka algoritma opredeleniya koordinat ochaga zemletryaseniya, s odnovremennym opredeleniem skorostei seismicheskikh voln. Nauchnye trudy molodykh issledovatelei programmy «Shag v budushchee». Tom 8 «Professional». Moskva; 2005. P. 32-34. [Aslanov T.G. Development of an algorithm for determining the coordinates of the earthquake focus with simultaneous determination of seismic wave velocities. Proceedings of

- young scientists of the «Step into the Future2» programme. Volume 8 «Professional». Moscow; 2005. pp. 32-34. (In Russ.)]
20. Rahinul H., Shoaib H., Akter S., Asadullahil G., Tahia F. K. Earthquake monitoring and warning system. International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE). 2015. pp. 109 – 112.
 21. Alphonsa A., Ravi G. Earthquake early warning system by IOT using Wireless sensor networks. International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET). 2016. pp. 1201 – 1205.
 22. Aslanov T.G., Alimerdenov V.Sh. Opredelenie struktury zemli po statisticheskim dannym vremen prikhoda seismicheskikh voln proizoshedshikh zemletryaseni. Trudy III nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov «Start v budushchee – 2013». Sankt-Peterburg; 2013. [Aslanov T.G., Alimerdenov V.Sh. Determination of the structure of the Earth according to the statistical data of the arrival times of seismic waves of occurred earthquakes. Proceedings of the III scientific and technical conference of young scientists and specialists «Start in the future – 2013». St. Petersburg; 2013. (In Russ.)]
 23. Aslanov G.K., Gadzhiev M.M., Ismailov T.A., Magomedov Kh.D. O zemletryaseniakh (proshloe i sovremenost'). Makhachkala: Informatsionno-poligraficheskii tsentr DGTU; 2001. [Aslanov G.K., Gadzhiev M.M., Ismailov T.A., Magomedov Kh.D. About earthquakes (past and present). Makhachkala: Information and printing centre of DGTU; 2001. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Асланов Гайдарбек Тагирбекович – доктор технических наук, профессор, кафедра «Управление и информатика в технических системах и вычислительной техники».

Асланов Тагирбек Гайдарбекович – кандидат технических наук, докторант.

Курбанмагомедов Курбанмагомед Динмагомедович – кандидат технических наук, доцент, директор Института системных технологий.

Шахтарин Борис Ильич – доктор технических наук, профессор, кафедра «Автономные информационные и управляющие системы».

Information about the author.

Gaidarbek K. Aslanov – Dr.Sci. (Technical), Prof., Department «Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering».

Tagirbek G. Aslanov – Cand. Sci. (Technical), Doctoral cand., Department «Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering».

Kurbanmagomed D. Kurbanmagomedov – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Director, Institute of System Technologies.

Boris I. Shakhtarin - Dr.Sci. (Technical), Prof., Department «Autonomous Information and Control Systems».

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 28.09.2017.

Принята в печать 29.10.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 28.09.2017.

Accepted for publication 29.10.2017.