

Для цитирования: Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г., Тетакаев У.Р. Определение координат очага землетрясения с использованием фигур четвертого и второго порядка – овала Кассини и гиперболы. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019; 46 (4): 134-142. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-4-134-142

For citation: B.I. Shakhtarin, T.G. Aslanov, Tetakaev U.R. Determination of earthquake focus coordinates using the Cassini oval method with second- and fourth-order Hyperbola figures. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (4): 134-142. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-4-134-142

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 550.34.01

DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-4-134-142

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИГУР ЧЕТВЕРТОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА – ОВАЛА КАССИНИ И ГИПЕРБОЛЫ

Шахтарин Б.И.¹, Асланов Т.Г.², Тетакаев У.Р.²

¹ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
¹105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, Россия

² Дагестанский государственный технический университет,
²367026, г. Махачкала, пр.И.Шамиля,70, Россия

Резюме: Цель. Целью исследования является определение зависимостей, получаемых при определении координат гипоцентра землетрясения с использованием фигур четвертого и второго порядков. **Метод.** Проводится сравнительный анализ определения координат очага землетрясения с использованием метода овала Кассини, с учетом ошибок в показаниях сейсмодатчиков и без них. **Результат.** Предложен новый метод определения координат гипоцентра землетрясения использующий при расчетах фигуры четвертого порядка – овал Кассини. Получен график распределения ошибок в определении координат очага землетрясения (с использованием овала Кассини) в зависимости от взаимного расположения двух сейсмодатчиков при различных значениях их ошибок в определении разностей времен пробега сейсмических волн. **Вывод.** Результаты расчета по предложенному авторами методу не зависят от знака ошибки в определении разности времен прихода сейсмических волн, и, следовательно, подходит для первоначального определения координат гипоцентра землетрясения, и сравнения его с результатами других методов для выявления знака ошибки.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмодатчик, сфера, гиперболоид, уравнение, метод эллипсоидов, овал Кассини, ошибка

DETERMINATION OF EARTHQUAKE FOCUS COORDINATES USING THE CASSINI OVAL METHOD WITH SECOND- AND FOURTH-ORDER HYPERBOLA FIGURES

B.I. Shakhtarin¹, T.G. Aslanov², Tetakaev U.R.²

¹*Bauman Moscow State Technical University,*

¹*5 Baumanskaya St., Moscow 105005, Russia,*

²*Daghestan State Technical University,*

²*70. I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia*

Abstract. Objectives. To study the dependencies obtained when determining the coordinates of an earthquake hypocentre using the figures of fourth and second orders. **Method.** A comparative analysis of determining the coordinates of the earthquake focus using the Cassini oval method, both taking errors in the readings of seismic sensors into account and ignoring them, is presented. **Result.** A new method is proposed for determining the coordinates of the earthquake hypocentre, which uses the fourth-order figure, the Cassini oval, in the calculations. A graph is obtained for the distribution of errors in determining the coordinates of the earthquake focus (using the Cassini oval) depending on the relative position of two seismic sensors with different values of their errors in determining the difference in travel times of seismic waves. **Conclusion.** Since the calculation results are independent of the error sign in determining the difference in the arrival times of seismic waves, the method is suitable for the initial determination of the coordinates of the earthquake hypocentre as well as for comparison with the results of other methods for identifying the error sign.

Keywords: earthquake, seismic sensor, sphere, hyperboloid, equation, ellipsoid method, Cassini oval, error

Введение. В настоящее время известны методы определения координат гипоцентра землетрясения использующие при расчетах фигуры второго порядка: сфера, эллипс и гипербола [1-4]. В методе гипербол, при расчетах, используются разности времен пробега одного типа сейсмической волны в двух направлениях, на два разнесенных сейсмодатчика, что приводит к значительным ошибкам по сравнению с методом сфер, где используются разности времен пробега продольной и поперечной сейсмических волн к одному сейсмодатчику [5-15].

По методу эллипса, для определения координат очага землетрясения можно использовать как сумму двух расстояний от сейсмодатчиков до линии положения гипоцентра землетрясения (предварительно вычисленных методом сфер), так и с использованием сферы и разности времен пробега сейсмической волны до двух сейсмодатчиков. При этом оценить величину ошибки в определении разности времен пробега сейсмических волн не представляется возможным, т.к. количество составляющих ошибок в определении разности времен – три (на три разнесенных сейсмодатчика), а уравнений для определения координат – два [1-4]. Для оценки ошибок необходимо разработать метод определения координат гипоцентра землетрясения, не использующий в расчетах разности (сумму) расстояний от очага землетрясения до сейсмодатчиков, так как это может привести вырождению уравнений, по которым производится расчет ошибок. Указанного недостатка лишен метод, использующий в своей основе фигуру четвертого порядка – овал Кассини [16].

В работе приводятся математические зависимости, позволяющие построить распределение ошибок в определении гипоцентра землетрясения по методу овала Кассини.

Постановка задачи. Для оценки ошибок в определении координат очага землетрясения, в зависимости от взаимного расположения сейсмодатчиков, используются значения скоростей сейсмических волн, разности времен пробега сейсмических волн на сейсмодатчик и заданная величина ошибки в определении разности времен.

По данным с учетом ошибки и без нее определяются два гипоцентра и ошибка в определении координат гипоцентра. Проведен анализ влияния взаимного расположения сейсмодатчиков и очага землетрясения в пространстве на точность определения координат очага с использованием фигуры четвертого порядка – овала Кассини.

Методы исследования. В работах [2-4] рассматриваются вопросы влияния пространственного расположения сейсмодатчиков и очага землетрясения на ошибки определения координат эпицентра и гипоцентра. Причем, в начале рассматриваются ошибки в определении гипоцентра в зависимости от перемещения одного из сейсмодатчиков на плоскости, проходящей через его начальное положение и неподвижные гипоцентр и другой сейсмодатчик, а после, и от результата пересечения фигур (сфер), соответствующих геометрическим местам положения гипоцентров землетрясения, определяемых по разностям времен пробега продольной и поперечной волн на сейсмостанции – окружности и третьего сейсмодатчика.

Геометрическим местом точек пересечения гиперболоида и овала Кассини, при условии размещения фокусов гиперболоида и овала Кассини на одной прямой является окружность.

Для нахождения координат очага землетрясения, необходимо использовать данные с третьего сейсмодатчика, который не должен находиться на одной прямой с первыми двумя. Если по третьему сейсмодатчику определить расстояние до очага землетрясения по разности времен пробега продольной и поперечной сейсмических волн, то геометрическим местом положения очага землетрясения будет сфера. Точка пересечения этой сферы с линией пересечения гиперболоида и овала Кассини и является очагом землетрясения. Анализ ошибок, возникающих при пересечении окружности со сферой, рассмотрены в работе [2].

Пусть сейсмодатчики 1 и 2 (рис.1) расположены в точках S_1 и S_2 . Для удобства расчетов, расположим сейсмодатчик S_1 в начале координат, и примем его за опорный.

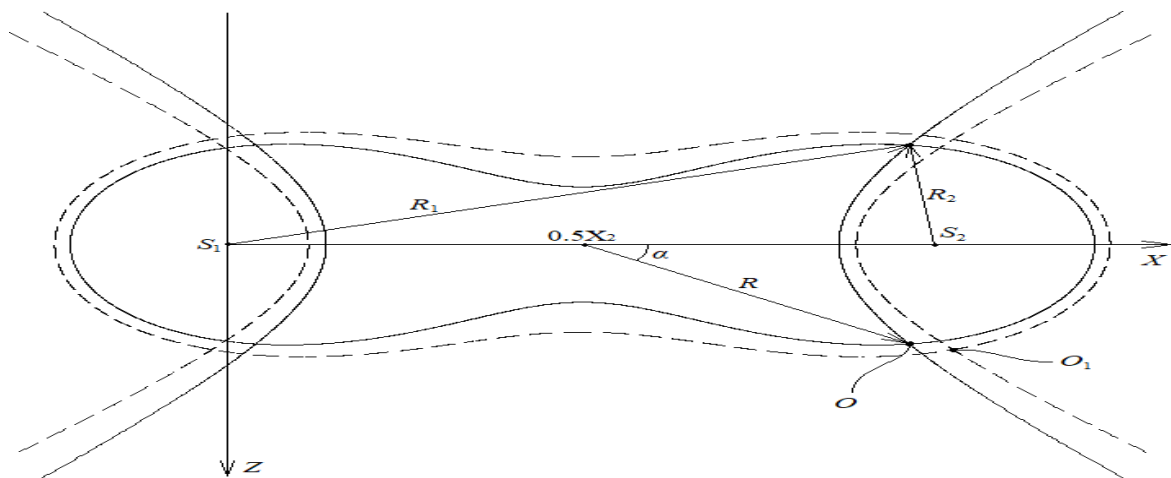


Рис.1. Геометрическое представление определения координат с использованием овала Кассини и гиперболы

Fig. 1. Geometric representation of coordinate determination using Cassini oval and hyperbola

На рис. 1 приведены геометрические соотношения, возникающие при определении координат очага землетрясения с использованием овала Кассини и гиперболы.

В отличие от других методов определения координат гипоцентра землетрясения, в предлагаемом методе используется полярная система координат с центром, расположенном не в точке нахождения опорного сейсмодатчика, а в середине отрезка между двумя сейсмодатчиками. На рис.1, сплошной линией изображены кривые, вычисленные без ошибок, а пунктирной линией с ошибкой в определении разности времен прихода сейсмических волн. Точке O соответствуют координаты гипоцентра землетрясения без ошибок, а точке O_1 при их наличии. Расстояния R_1 и R_2 определяют овал Кассини как квадрат постоянной величины их произведения, и гиперболы как двойная постоянная величина разности расстояний.

Расстояние от опорного сейсмодатчика до очага землетрясения по разности времен прихода сейсмической волны к двум сейсмодатчикам, может быть вычислено по уравнению гиперболы в полярных координатах [18]:

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{X_2^2(t_r V_1)^2 - (t_r V_1)^4}{X_2^2 \cos^2(\alpha) - (t_r V_1)^2}}, \quad (1)$$

где: X_2 – координата второго сейсмодатчика;
 t_r – разность времен прихода продольной сейсмической волны к двум сейсмодатчикам;
 V_1 – скорость распространения продольной сейсмической волны;
 α – полярный угол определяющий через расстояние R множество точек возможного расположения очага землетрясения образующих кривые второго и четвертого порядка – гиперболу и овал Кассини.

а также по овалу Кассини в полярных координатах:

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{X_2^2 \cos(2\alpha) \pm \sqrt{X_2^4 \cos^2(2\alpha) + 16R_1^2 R_2^2 - X_2^4}}, \quad (2)$$

где: $R_1 = V_1 V_2 t_1 / (V_1 - V_2)$;
 $R_2 = V_1 V_2 t_2 / (V_1 - V_2)$;
 V_2 – скорость распространения поперечной сейсмической волны;
 t_1 – разность времен прихода поперечной и продольной сейсмических волн к опорному сейсмодатчику;
 t_2 – разность времен прихода поперечной и продольной сейсмических волн ко второму сейсмодатчику.

Для нахождения координат гипоцентра землетрясения приравняем выражения (1) и (2).
 Имеем:

$$\left(\frac{X_2^2(t_r V_1)^2 - (t_r V_1)^4 + (t_r V_1)^2 X_2^2 \cos 2\alpha - X_2^4 \cos^2 \alpha \cos 2\alpha}{(t_r V_1)^2 - X_2^2 \cos^2 \alpha} \right)^2 - X_2^4 \cos^2 2\alpha - 16R_1^2 R_2^2 + X_2^4 = 0. \quad (3)$$

После некоторых преобразований получим

$$a \cos^2 2\alpha + b \cos 2\alpha + c = 0, \quad (4)$$

где:

$$\begin{aligned} a &= 4(t_r V_1)^4 X_2^4 - 4(t_r V_1)^2 X_2^6 - 16R_1^2 R_2^2 X_2^4 + X_2^8; \\ b &= 12(t_r V_1)^4 X_2^4 - 8(t_r V_1)^6 X_2^2 + 64R_1^2 R_2^2 X_2^2 (t_r V_1)^2 - 8(t_r V_1)^2 X_2^6 - 32R_1^2 R_2^2 X_2^4 + 2X_2^8; \\ c &= 4(t_r V_1)^8 - 8(t_r V_1)^6 X_2^2 - 64R_1^2 R_2^2 (t_r V_1)^4 + 8(t_r V_1)^4 X_2^4 + 64R_1^2 R_2^2 X_2^2 (t_r V_1)^2 - 4(t_r V_1)^2 X_2^6 - 16R_1^2 R_2^2 X_2^4 - X_2^8. \end{aligned}$$

Тогда угол α может быть найден по выражению:

$$\alpha = \frac{\arccos\left(\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}\right)}{2}.$$

После подстановки α в уравнение (1) и рассчитав расстояние до гипоцентра землетрясения можно вычислить глубину очага землетрясения и эпицентральное расстояние по следующим формулам:

$$\begin{aligned}Z &= R \sin \alpha ; \\X &= R \cos \alpha .\end{aligned}$$

Для анализа зависимости ошибки в определении координат гипоцентра землетрясения преднамеренно введем ошибки в определении разности времен пробега сейсмических волн Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 :

$$\begin{aligned}t'_1 &= t_1 + \Delta_1 ; \\t'_2 &= t_2 + \Delta_2 ; \\t'_r &= t_r + \Delta_3 .\end{aligned}$$

При этом, Δ_3 – ошибка в определении разности времен пробега сейсмической волны от очага землетрясения до разнесенных в пространстве сейсмодатчиков S_1 и S_2 , Δ_1 и Δ_2 – ошибка в определении разности времен пробега поперечной и продольной сейсмической волны до сейсмодатчика.

В результате внесения преднамеренных ошибок получим значение R' , соответствующий расстоянию от середины отрезка между двумя сейсмодатчиками до очага землетрясения с какой-то ошибкой, равной разности расстояний R и R' .

На рис.2 приведены зависимости ошибки в определении координат гипоцентра землетрясения от взаимного расположения сейсмодатчиков и очага землетрясения на плоскости, проходящей через два сейсмодатчика и гипоцентр землетрясения.

Рис.2, *а* и *б* соответствуют ошибкам, направленным в сторону увеличения расстояния от сейсмодатчиков до очага землетрясения.

Рис. 2, *в* и *г* соответствуют случаю, когда знаки ошибок измеренных разностей времен прихода продольной волны к двум сейсмодатчикам противоположны разностям времен прихода продольной и поперечной сейсмических волн к двум сейсмодатчикам.

Рис. 2, *д* и *е* соответствуют случаю, когда знаки ошибок измерений разности времен прихода продольной и поперечной сейсмических волн ко второму сейсмодатчику противоположны разности времени прихода продольной и поперечной сейсмических волн к опорному сейсмодатчику и разности времени прихода продольной волны к двум сейсмодатчикам.

Рис. 2, *ж* и *з* соответствуют случаю, когда знаки ошибок измерений разности времен прихода продольной волны к двум сейсмодатчикам и продольной и поперечной сейсмических волн ко второму сейсмодатчику, противоположны разности времени прихода продольной и поперечной сейсмических волн к опорному сейсмодатчику.

При моделировании, инструментальная ошибка измерения разностей времен пробега сейсмических волн к сейсмодатчикам, принята равной 0,5 с.

Кривым 1, 2 и 3 соответствуют удаления эпицентра землетрясения от опорного сейсмодатчика на расстояния 100, 200 и 300 км, соответственно, а глубина очага землетрясения принята равной 10 км.

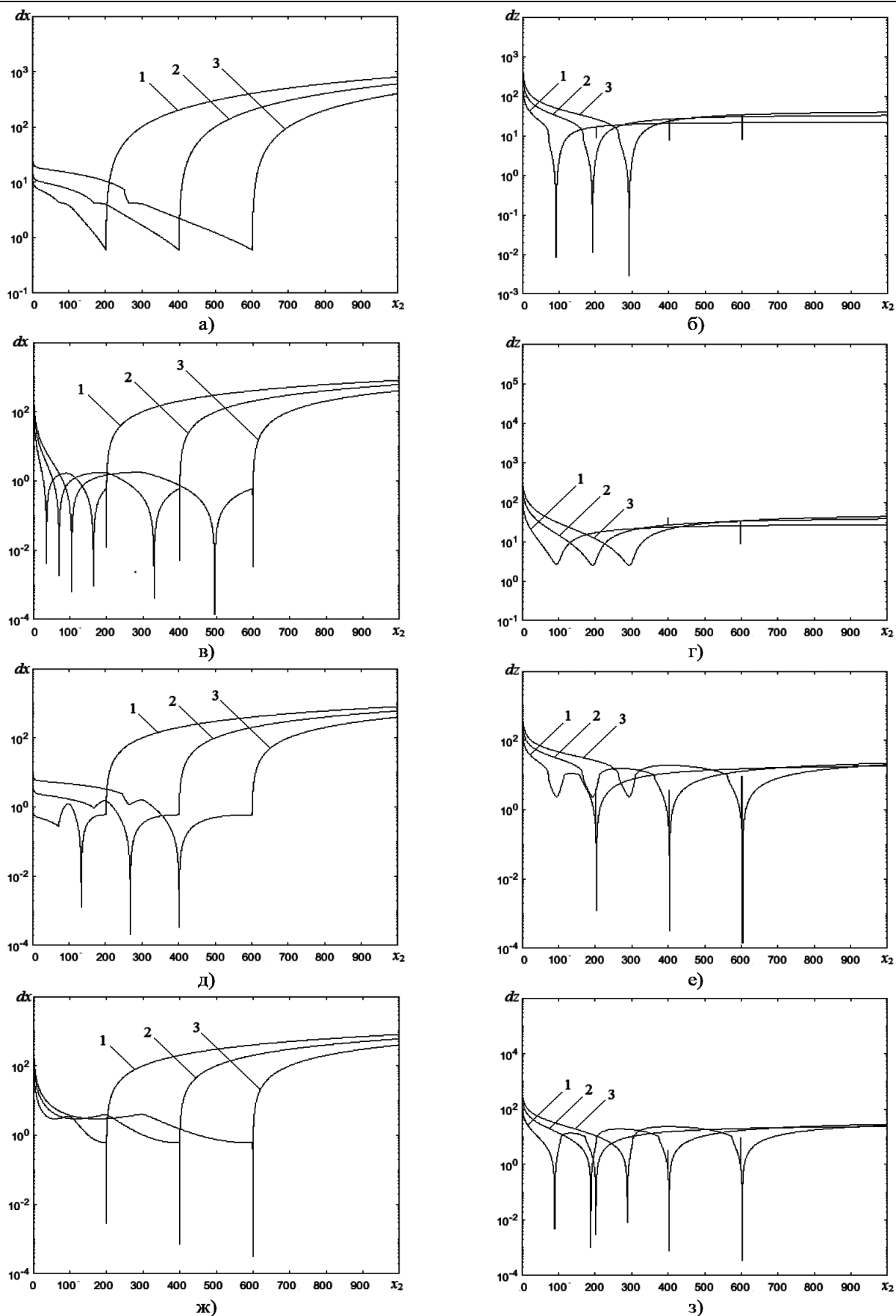


Рис. 2. Ошибки в определении координат очага землетрясения в плоскости, проходящей через два сейсмодатчика и гипоцентр землетрясения
 Fig. 2. Errors in determining the coordinates of the earthquake source in a plane passing through two seismic sensors and the earthquake hypocenter

Обсуждение результатов. В результате выполненной работы предложен метод определения координат очага землетрясения комбинированным методом, в котором используются кривая четвертого порядка – овал Кассини и кривая второго порядка – гипербола. Получена зависимость ошибки определения глубины и координат эпицентра землетрясения в зависимости от взаимного расположения сейсмодатчиков и гипоцентра.

В статье рассматривается пример, когда фигура второго порядка гипербола получена как разность времен прихода сейсмической волны к двум разнесенным в пространстве сейсмодатчикам, а овал Кассини как произведение расстояний от двух сейсмодатчиков до очага землетрясения.

В то же время, гиперболу можно определить как разность расстояний рассчитанных по методу сфер, а овал Кассини - как произведение расстояния от очага землетрясения до сейсмодатчика, на тоже расстояние с приращением расстояния, полученного от разности времен пробега сейсмической волны на разнесенные в пространстве сейсмодатчики умноженное на скорость сейсмической волны.

Применение предложенного метода позволяет определять координаты очага землетрясения при отсутствии данных об одном из типов волн (продольной или поперечной) на одном из сейсмодатчиков. Предложенный метод может быть использован для первоначального выбора сейсмодатчиков на местности для определения координат гипоцентра землетрясения.

Выводы. При расположении сейсмодатчиков как по одну сторону, так и по разные стороны от эпицентра землетрясения, предложенный метод позволяет определять координаты очага землетрясения с меньшими ошибками, по сравнению с известными методами, на больших расстояниях не зависимо от знака ошибки [1, 3].

Результаты расчета по предложенному методу не зависят от знака ошибки в определении разностей времен прихода сейсмических волн, следовательно, следовательно, результаты расчета могут быть использованы для первоначального определения координат гипоцентра землетрясения, и сравнения его с результатами других методов для выявления знака ошибки.

На рис. 2, из-за наличия ошибок в измерении времени прихода сейсмических волн, и в связи с близким расположением сейсмодатчиков, графики изменения ошибок стремятся к бесконечности из-за преобразования гиперболы в эллипс, в результате чего эллипс и овал Кассини, не пересекаются.

Предложенный метод применим также для определения координат объектов в навигационных системах, где для расчета координат объектов используются методы сфер или гиперболоидов.

Библиографический список:

1. Shearer P.M. Introduction to Seismology. Cambridge University Press; 2009. 412 p.
2. Асланов Т.Г., Тагиров Х.Ю., Магомедов Х.Д. Влияние пространственного расположения сейсмодатчиков на точность определения гипоцентра землетрясения // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №4 (43), 2016 – Махачкала: ДГТУ, 2016. – С. 73-84.
3. Асланов Т.Г. Определение координат очага землетрясения с использованием комбинированного метода. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44(2): 118-125. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-2-118-125>
4. Шахтарин Б.И., Асланов Г.К., Асланов Т.Г. Определение координат очага землетрясения с использованием фигур второго порядка - эллипса и гиперболы // Автоматизация. Современные технологии. №11, Том 72. 2018. – С 503-509.
5. D'Amico S. (ed.) Earthquake Research and Analysis - Statistical Studies, Observations and Planning/ S. D'Amico – InTech. Janeza Trdine, 2012. – 460 p.
6. Robert Garotta. Поперечные волны: от регистрации до интерпретации. Краткий курс лекций для высших учебных заведений, 2000 г. Серия №3
7. Schuster G.T. Basics of Seismic Wave Theory / G.T. Schuster – University of Utah, 2007. – 154 p.
8. Kasahara K. Earthquake mechanics / K. Kasahara – Cambridge University Press, 1981. –272 p.
9. Kennett B. Seismic Wave Propagation in Stratified Media / B. Kennett – Australian National University Press, 2009. — 298 p.
10. Яновская Т.Б. Основы сейсмологии: учебное пособие / Т.Б. Яновская – Санкт-Петербург, 2008. - 222 с.

11. Мкртычев О.В. Безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях: монография / О.В. Мкртычев — М.: МГСУ, 2010. — 152 с.
12. 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.
13. Бурмин В.Ю. Новый подход к определению параметров гипоцентров далеких землетрясений / Вулканология и сейсмология – 1994 – С. 68-79
14. 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.
15. D'Amico S. (Ed.) Engineering Seismology, Geotechnical and Structural Earthquake Engineering. InTech; 2013. 300 p.
16. Казаков А.Я., Жихарева А.А. Аналитическая геометрия [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Казаков А.Я. – Электронное учебное пособие для вузов, 2014. – 47 с. – Режим доступа: http://publish.sutd.ru/e_books/analit_geometr_2014/glava/anal_geom.pdf – ЭБС СПГУТД (Дата обращения: 20.08.2016)

References:

1. Shearer P.M. Introduction to Seismology. Cambridge University Press; 2009. 412 p.
2. Aslanov T.G., Tagirov Kh.Yu., Magomedov Kh.D. Vliyanie prostranstvennogo raspolozheniya seismodatchikov na tochnost' opredeleniya gipotsentra zemletryaseniya. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2016;4(43):73-84. [Aslanov T.G., Tagirov Kh.Yu., Magomedov Kh.D. Influence of seismic sensor spatial configuration onto earthquake hypocenter definition accuracy. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;4(43):73-84. (in Russ.)]
3. Aslanov T.G. Definition of earthquake focus coordinates using a combined method. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44(2):118-125. (In Russ.) <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-2-118-125>
4. Shakhtarin B.I., Aslanov G.K., Aslanov T.G. Determination of the earthquakes centre coordinates using second order figures: ellipse and hyperbola // Automation. Modern technologies. №11, T. 72. 2018. – P. 503-509.
5. D'Amico S. (Ed.) Earthquake Research and Analysis - Statistical Studies, Observations and Planning. InTech; 2012. 460 p.
6. Robert Garotta. Poperechnye volny: ot registratsii do interpretatsii. Kratkiy kurs lektsiy dlya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya №3. 2000. [Robert Garotta. Transversal waves: from registration to interpretation. Short lecture course for Higher Education Institutions. Series №3. 2000. (in Russ.)]
7. Schuster G.T. Basics of Seismic Wave Theory. University of Utah; 2007. 154 p.
8. Kasahara K. Earthquake mechanics. Cambridge University Press; 1981. 272 p.
9. Kennett B. Seismic Wave Propagation in Stratified Media. Australian National University Press; 2009. 298 p.
10. Yanovskaya T.B. Osnovy seysmologii: uchebnoe posobie. Sankt-Peterburg; 2008. 222 s. [Yanovskaya T.B. Seismology fundamentals: a tutorial. Saint-Petersburg; 2008. 222 p. (in Russ.)]
11. Mkrtychev O.V. Bezopasnost' zdaniy i sooruzheniy pri seysmicheskikh i avariynykh vozdeystviyakh. 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.)]
12. Shakhriman'yan M.A., Nigmatov G.M., Sosunov I.V. Matematicheskoe modelirovanie kak sposob podderzhki prinyatiya resheniy v sluchae vznikoveniya chrezvychaynykh situatsiy. Katalog «Pozharnaya bezopasnost'»; 2003. S. 240-241. [Shakhriman'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 —Fire safety]]; 2003. P. 240-241. (in Russ.)]
13. Burmin V.Yu. Novyy podkhod k opredeleniyu parametrov gipotsentrov dalekikh zemletryaseniya. Vulkanologiya i seysmologiya. 1994;1:68-79. [Burmin V.Yu. A new approach for the determination of remote earthquake hypocenter parameters. Vulcanology and seismology. 1994;1:68- 79. (in Russ.)]
14. 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 instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN, Materialy. Makhachkala: Izdatelstvo DNTs RAN; 2010. 54-59. [Aslanov T.G., Daniyalov M.G., Magomedov Kh.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.)]
15. D'Amico S. (Ed.) Engineering Seismology, Geotechnical and Structural Earthquake Engineering. InTech; 2013. 300 p.
16. Kazakov A.Ya., Zhikhareva A.A. Analiticheskaya geometriya [Elektronnyy resurs]: Elektronnoe uchebnoe posobie dlya vuzov; 2014. 47 s. Rezhim dostupa: http://publish.sutd.ru/e_books/analit_geometr_2014/glava/anal_geom.pdf – EBS SPGUTD (Data obrashcheniya: 20.08.2016). [Kazakov A.Ya., Zhikhareva A.A. Analytical geometry [Electronic resource]: Electronic tutorial for Higher Education Institutions; 2014. 47 p. Available at:

http://publish.sutd.ru/e_books/analit_geometr_2014/glava/anal_geom.pdf – EBS SPGUTD (Access date: 20.08.2016). (in Russ.)]

Сведения об авторах:

Шахтарин Борис Ильич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»; e-mail: shakhtarin@mail.ru

Асланов Тагирбек Гайдарбекович, кандидат технических наук, докторант, заведующий кафедрой управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; e-mail: tabasik@gmail.com

Тетакаев Умар Резванович, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; e-mail: umar_tetakaev@mail.ru

Information about the authors:

Boris I. Shakhtarin, Dr.Sci. (Technical), Prof., Department «Autonomous Information and Control Systems»; e-mail: shakhtarin@mail.ru

Tagirbek G.Aslanov, Cand. Sci. (Technical), Doctoral Cand., Head of Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; e-mail: tabasik@gmail.com

Umar R.Tetakaev, Cand. Sci. (Technical), Senior Lecture, Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; e-mail: umar_tetakaev@mail.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.10.2019.

Принята в печать 22.11.2019.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 20.10.2019.

Accepted for publication 22.11.2019.