

Р.М. Гайсин, А.Ю. Цариков

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЗОНЫ НАРУШЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ АНОМАЛЬНОГО СИГНАЛА В ПОДЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ

**Аннотация.** Выявление зон мелкоамплитудной тектонической нарушенности в угольных шахтах является насущной задачей. Решение этой задачи возможно геофизическими методами, в частности методами подземной электроразведки. Основной проблемой при этом является решение обратной задачи. Ее решение должно однозначно давать координаты аномальных по электропроводности зон, которые связаны с мелкоамплитудной тектонической нарушенностью. Для применяющегося на шахтах Кузбасса электроразведочного метода ЭДЭП-П (экваториально-дипольное электрическое просвечивание параллельное) наилучшим методом решения обратной задачи является метод аналитического продолжения. Для аномальных зон с одинаковыми параметрами, если они находятся в разных точках, данные полученные на измерительном профиле различаются. Возмущение, создаваемое аномалией, определяется двумя расстояниями: расстояние «токовый диполь» — «аномальная зона»; расстояние «аномальная зона» — «измерительный профиль». Были получены зависимости величины аномального сигнала для этих расстояний и предложен алгоритм обработки исходных данных, который позволяет более достоверно оценивать величину аномалии.

**Ключевые слова:** электроразведка, моделирование, аномальная зона, экваториально-дипольное электрическое просвечивание.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-83-88

Одной из задач подземной электроразведки в угольных шахтах является выявление зон с аномальными физическими свойствами. Эти зоны в большинстве случаев приурочены к участкам с высокой газодинамической активностью. Таким образом, оконтуривание аномальных зон и последующее прогнозирование выбросоопасных участков в выемочных столбах впереди очистных разбоев является актуальным.

Для решения задачи оконтуривания аномальной зоны методами подземной электроразведки в условиях Кузбасса широкое распространение получил метод экваториально-дипольного электрического просвечивания (ЭДЭП). В дан-

ном методе проводятся исследования по параллельным подземным выработкам, в одной выработке устанавливаются токовые электроды (АВ) в кровле и почве, а по другой выработке с определенным шагом по профилю проводятся измерения разности потенциала кровля-почва. После прохождения измерительного профиля происходит перестановка токовых электродов в другое положение и вновь проводятся измерения по разности потенциалов (напряжения).

Для обработки данных в нашем случае используется разработанная нами программа электротомографии. В ее основе лежит метод аналитического продолжения [1]. Как известно, протекание

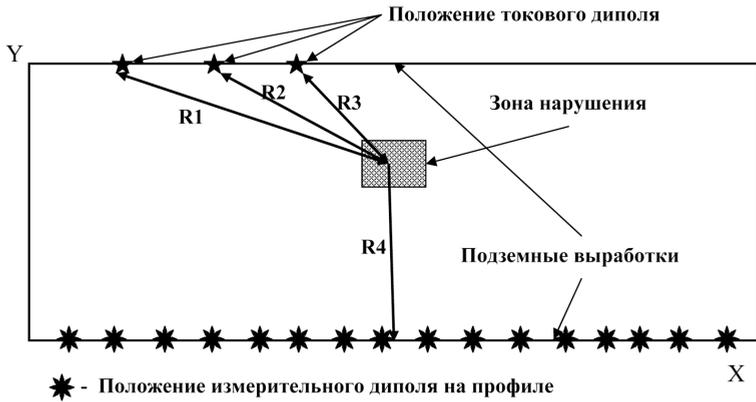


Рис. 1. Взаимное положение в плане токового, измерительных диполей и зоны нарушения  
 Fig. 1. Plane view of positional relationship between the current and measurement dipoles and a dislocation zone

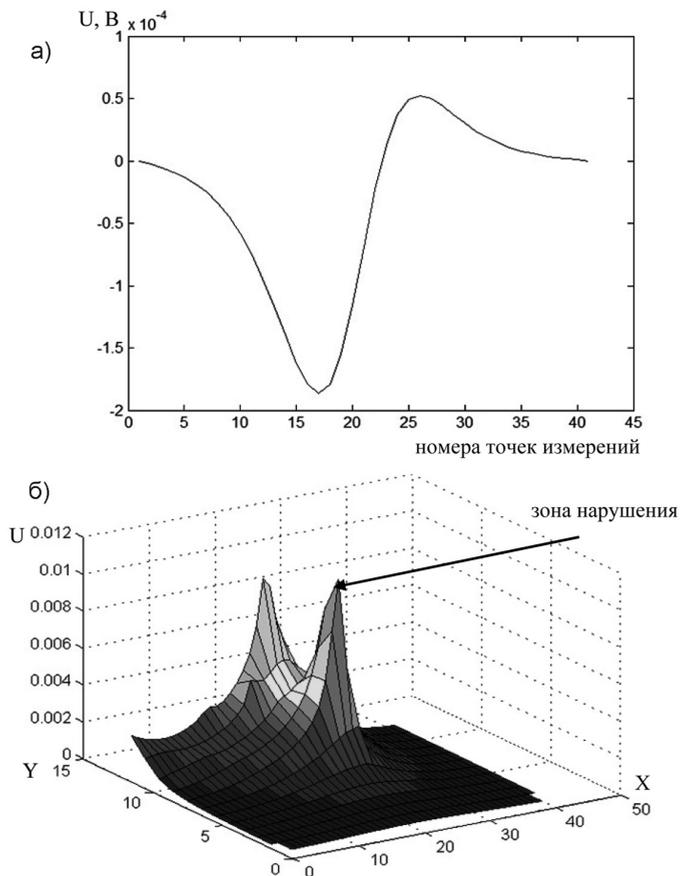


Рис. 2. Зависимость аномального сигнала по измерительному профилю (а) и результат решения обратной задачи по данным измерений (б)  
 Fig. 2. Anomalous signal curve along the measurement profile (a) and from the inverse problem solution using the measurement data (b)

тока в массиве приводит к накоплению зарядов на границах раздела сред с различной проводимостью, то есть токовый диполь, являющийся первичным источником, индуцирует в массиве вторичные источники, приуроченные к аномальным зонам. Для расчета мы использовали значения напряжений, создаваемые аномалообразующим объектом, для этого из данных полученных в среде с аномалией вычитаются данные полученные в безаномальной среде. Для аномальных зон с одинаковыми параметрами, если они находятся в разных точках, данные полученные на измерительном профиле различаются.

Очевидно, что возмущение, создаваемое аномалией, определяется двумя расстояниями (рис. 1):

- расстояние «токовый диполь» — «аномальная зона (R1, R2...)»;
- расстояние «аномальная зона» — «измерительный профиль (R4)».

Это необходимо учитывать при обработке данных и вносить в программу обработки соответствующие коррективы.

Оценка влияния взаимного положения первичного источника и аномалии проводилась следующим образом.

В программе моделирования [2] подземной электроразведки были получены значения напряжений на измерительном профиле для различных положений токового диполя. Пример сигнала от аномалообразующего объекта приведен на рис. 2, а. Затем по полученным данным с помощью программы обработки была решена обратная задача, определены положение аномальной зоны и ее амплитудное значение (рис. 2, б).

Аппроксимация зависимости «суммарное расстояние (R1+R4)» — «амплитудное значение аномалии» было проведено с помощью экспоненциальной функции (рис. 3). Зависимость амплитудного значения аномалии от расстояния имеет вид:

$$U_a = ae^{-b(R_{IA}+R_{AU})} \quad (1)$$

где  $a$  — «контрастность» аномалии;  $b$  — коэффициент затухания;  $R_{IA}$  — расстояние токовый диполь — аномальная зона;

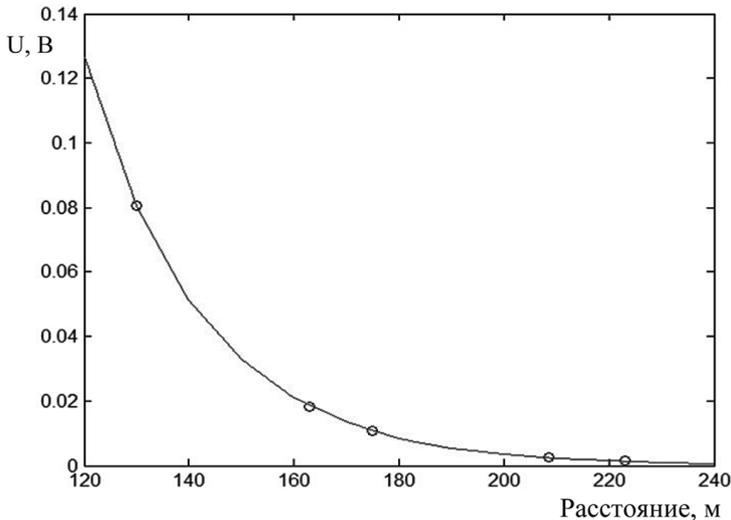


Рис. 3. Аппроксимация зависимости амплитудного значения аномалии от суммарного расстояния (источник — зона нарушения + зона нарушения-измерительный профиль)

Fig. 3. Approximation of abnormality amplitude versus total distance (source—dislocation zone+dislocation zone—measurement profile)

$R_{AU}$  — расстояние аномальная зона — измерительный профиль.

Для двух различных положений токового диполя имеем

$$U_{a1} = ae^{-b(R_{IA1}+R_{AU})} \quad (2)$$

$$U_{a2} = ae^{-b(R_{IA2}+R_{AU})}$$

Решение системы уравнений (2) имеет вид

$$b = \frac{1}{R_{IA2} - R_{IA1}} \ln \frac{U_{a1}}{U_{a2}}, \quad (3)$$

$$a = \frac{U_{a1}}{e^{-b(R_{IA1}+R_{AU})}}. \quad (4)$$

Таким образом, после вычисления а мы имеем «контрастность» данной аномальной зоны. Алгоритм обработки теперь будет выглядеть следующим образом:

- находится положение аномальной зоны и ее амплитудное значение;
- определяется «контрастность» (а) этой зоны;
- амплитудное значение умножается на а.

Такая операция позволит более достоверно оценивать величину аномалии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермохин К. М. Продолжение геофизических полей в область источников аномалий методом аппроксимации цепными дробями // Геофизика. — 2007. — № 1. — С. 51–55.
2. Гайсин Р. М., Наботов В. В., Потапов П. В., Цариков А. Ю. Моделирование электрических полей в условиях шахтной электроразведки // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 9. — С. 5–10.
3. Страхов В. Н. Аналитическое продолжение потенциальных полей. Гравиразведка: справочник геофизика / Под ред. Е. А. Мудрецовой, К. Е. Веселова. — М.: Недра, 1990. — 606 с.
4. Суетин П. К. Классические ортогональные многочлены. — М.: Наука, 1979. — 415 с.
5. Джоунс У., Трон В. Непрерывные дроби. — М.: Мир, 1985.
6. Viskovatov V. De la methode generale pour reduire toutes sortes de quantitees en fraction continues / Memoires de l' Academie Imperiale des Sciences de St. Petersburg. — 1805.
7. Ermokhine K. M. Analytical continuation of geophysical fields into the area of anomaly sources by the Continued fraction method (CFCM). Vienne, EAGE2006, abstr. P. 324.
8. Ермохин К. М. Аналитическое продолжение геофизических полей в область источников аномалий с помощью цепных дробей / Вопросы теории и практики интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 34-го семинара им. Д.Г. Успенского. — М.: ИФЗ РАН, 2007. — С. 109–113.
9. Ермохин К. М., Жданова Л. А. Эффективный метод аналитического продолжения модельных и практических геофизических полей в область источников / Вопросы теории и практики интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 37-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. — М.: ИФЗ РАН, 2010.
10. Шестаков А. Ф. О концепции особых точек аналитического продолжения геофизических полей и развитии методов их определения с использованием гасящих функций. — Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2013.
11. Computers & Geosciences. Vol. 49, December 2012, Pp. 278–289. REGCONT: A Matlab based program for stable downward continuation of geophysical potential fields using Tikhonov regularization. Author links open overlay panel R.Paštekaa, R.Karcolb, D.Kušnirák, A.Mojžeša. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.06.010>.
12. Fultz L. A geophysical analysis of the great falls tectonic zone and the surrounding area, Montana USA Geography, Geology and Planning Missouri State University, May 2017.
13. Kim V. P., Liu J. Y., Hegai V. V. On a possible seismomagnetic effect in the topside ionosphere // Adv. Space Res. 2015. Vol. 56. P. 1707–1713. **IAAB**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Гайсин Роберт Мударисович<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент,

Цариков Александр Юрьевич<sup>1</sup> — аспирант,

<sup>1</sup> МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: ftkp@mail.ru.

## Estimate of influence of dislocation position on anomalous signal intensity in underground electrical survey

Gaysin R.M.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
Tsarikov A.Yu.<sup>1</sup>, Graduate Student,

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS»,  
119049, Moscow, Russia, e-mail: ftkp@mail.ru.

**Abstract.** Detection of small-amplitude tectonic dislocations is a pressing task in coal mining. The task can be solved using the geophysical methods, in particular, the underground electrical survey. The basic difficulty in this case is the inverse problem solution. The solution should yield unambiguous coordinates of anomalously conductive zones related with the small-amplitude tectonic dislocations. For the electrical survey approach (equatorial parallel dipole electrical sounding) applied in Kuzbass mines, the best way of solving inverse problems is the continuation method. The measurement profile data differ in anomalous zones having the same parameters but different locations. Apparently, an anomaly-induced disturbance is determined by two distances: current dipole–anomalous zone distance and measurement profile–anomalous zone distance. The relations between the anomalous signal intensities and these distances are obtained, and the initial data processing algorithm is proposed, which enables more accurate estimate of the size of an abnormality.

**Key words:** electrical survey, modeling, anomalous zone, equatorial parallel dipole electrical sounding.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-83-88

## REFERENCES

1. Ermokhin K. M. Prodlzhenie geofizicheskikh poley v oblast' istochnikov anomalii metodom approksimatsii tsepnymi drobyami [Extension of geophysical fields in the zone of abnormality sources by the continued fraction approximation method]. *Geofizika*. 2007, no 1, pp. 51–55. [In Russ].
2. Gaysin R. M., Nabatov V. V., Potapov P. V., Tsarikov A. Yu. Modelirovanie elektricheskikh poley v usloviyakh shakhtnoy elektrorazvedki [Modeling electric fields in mine electrical survey]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 9, pp. 5–10. [In Russ].
3. Strakhov V. N. Analiticheskoe prodolzhenie potentsial'nykh poley. Gravitrazvedka: spravochnik geofizika. Pod red. E. A. Mudretsovoy, K. E. Veselova [Continuation of potential fields. Gravity survey: Geoscientist's Manual. Mudretsova E. A., Veselov K. E. (Eds.)], Moscow, Nedra, 1990, 606 p.
4. Suetin P. K. *Klassicheskie ortogonal'nye mnogochleny* [Classical orthogonal polynomials], Moscow, Nauka, 1979, 415 p.
5. Dzhouns U., Tron V. *Neprieryvnye drobi* [Continued fraction], Moscow, Mir, 1985.
6. Viskovatov B. *De la methode generale pour reduire toutes sortes des quantitees en fraction continues*. Memoires de l' Academie Imperiale des Sciences de St. Petersburg. 1805.
7. Ermokhine K. M. *Analytical continuation of geophysical fields into the area of anomaly sources by the Continued fraction method (CFM)*. Vienne, EAGE2006, abstr. P. 324.
8. Ermokhin K. M. Analiticheskoe prodolzhenie geofizicheskikh poley v oblast' istochnikov anomalii s pomoshch'yu tsepnnykh drobey [Extension of geophysical fields in the zone of abnormality sources by the continued fraction method]. *Voprosy teorii i praktiki interpretatsii gravitatsionnykh, magnitnykh i elektricheskikh poley: Materialy 34-go seminara im. D. G. Uspenskogo*, Moscow, IFZ RAN, 2007, pp. 109–113. [In Russ].
9. Ermokhin K. M., Zhdanova L. A. Effektivnyy metod analiticheskogo prodolzheniya model'nykh i prakticheskikh geofizicheskikh poley v oblast' istochnikov [Efficient method of continuation of model and actual geophysical fields in the zone of sources]. *Voprosy teorii i praktiki interpretatsii gravitatsionnykh, magnitnykh i elektricheskikh poley: Materialy 37-y sessii Mezhdunarodnogo seminara im. D. G. Uspenskogo*, Moscow, IFZ RAN, 2010. [In Russ].
10. Shestakov A. F. *O kontseptsii osobykh tochek analiticheskogo prodolzheniya geofizicheskikh poley i razvitiy metodov ikh opredeleniya s ispol'zovaniem gasyashchikh funktsiy* [Concept of specific points in continuation of geophysical fields and development of their determination methods using blanking functions], Ekaterinburg, Institut geofiziki UrO RAN, 2013.
11. *Computers & Geosciences*. Vol. 49, December 2012, Pp. 278–289. REGCONT: A Matlab based program for stable downward continuation of geophysical potential fields using Tikhonov regularization.

Author links open overlay panel R.Paštekaa, R.Karcolb, D.Kušniráka, A.Možeša. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.06.010>.

12. Fultz L. A geophysical analysis of the great falls tectonic zone and the surrounding area, Montana USA Geography, Geology and Planning Missouri State University, May 2017.

13. Kim V. P., Liu J. Y., Hegai V. V. On a possible seismomagnetic effect in the topside ionosphere. *Adv. Space Res.* 2015. Vol. 56. P. 1707–1713.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ КАЧКАНАРСКОГО ГОКА

(2018, № 4, СВ 11, 16 с., DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-11-3-14)

Авксентьев С.Ю.<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент, e-mail: avksentiev@mail.ru,

Сержан С.Л.<sup>1</sup> — кандидат технических наук, ассистент кафедры, e-mail: sergei.serzhan@mail.ru,

Труфанова И.С.<sup>1</sup> — кандидат технических наук, ассистент кафедры, e-mail: trufanova\_inna@mail.ru,

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет.

В качестве объекта исследования выступает система гидротранспорта хвостов обогащения железной руды на АО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК». Целью работы являлось определение параметров гидравлического транспорта хвостов обогащения железной руды при массовых концентрациях твердой фазы от 30% до 70% с разработкой рекомендаций для промышленной эксплуатации систем гидротранспорта высококонцентрированных пульп ЦХХ Качканарского ГОКа. Методы проведения работы — лабораторные исследования параметров гидротранспорта сгущенных хвостовых пульп с разработкой методики расчета; опытно-промышленные испытания гидротранспортной системы в условиях ЦХХ Качканарского ГОКа. Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики — установлено, что при использовании полиуретановых покрытий внутренней поверхности пульповодов значительно (1,75) снижаются удельные потери напора на гидротранспорт сгущенных смесей. Это позволяет значительно увеличить длину транспортирования для укладки хвостов обогащения в дальние участки хвостохранилища. Выполненные технико-экономические расчеты подтверждают экономическую эффективность использования стальных трубопроводов с внутренним полиуретановым покрытием.

Ключевые слова: гидротранспорт, сгущенные гидросмеси, хвосты обогащения, потери напора, полиуретановые покрытия, лабораторные и опытно-промышленные испытания.

### DETERMINATION OF PARAMETERS OF HYDRAULIC TAILINGS BENEFICIATION OF IRON ORE IN KACHKANAR GOK

Avksentiev S.Yu.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: avksentiev@mail.ru,

Serzhan S.L.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant of Chair, e-mail: sergei.serzhan@mail.ru,

Trufanova I.S.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant of Chair, e-mail: rafis614321@mail.ru,

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Mining University, Russia.

The system for hydrotransport of tailings of iron ore processing at JSC EVRAZ Kachkanarsky GOK acts as an object of research. The aim of the work was to determine the parameters of the hydraulic transport of tailings for the processing of iron ore at mass concentrations of the solid phase from 30% to 70% with the development of recommendations for the industrial operation of the hydrotransport systems of highly concentrated pulp from the Kachkanarskiy GOK. Methods of carrying out the work — laboratory studies of hydrotransport parameters of thickened tail pulps with the development of a calculation technique; experimental-industrial tests of the hydrotransport system in the conditions of the Kachkanarsky GOK. The main structural, technological and technical and operational characteristics: it is established that when using polyurethane coatings on the inner surface of the pipes, the specific loss of pressure on hydrotransport of condensed mixtures is significantly reduced (1,75). This makes it possible to significantly increase the transportation range for laying the tailings of processing to the far parts of the tailing dump. Completed technical and economic calculations confirm the economic efficiency of using steel pipelines with an internal polyurethane coating. The degree of implementation of the research results is in the project for the reconstruction and development of tailings pond of the Kachkanarskiy GOK for the period 2018–2020. Recommendations for implementation of results: it is proposed to use the results of work in the project of reconstruction of the hydrotransport system at the Kachkanarskoye ore processing plant by switching to hydrotransport of slurries condensates to mass concentrations of 35–40% in pipes with an internal polyurethane coating, which will provide energy saving in the technological process of hydrotransport.

Key words: hydrotransport, condensed slurry, tailings of processing, pressure loss, polyurethane coatings, laboratory and pilot-industrial tests.