

ШАХТНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ПО ОТРАЖЕННЫМ ВОЛНАМ МЕТОДОМ ЛОКАЦИИ

А.В. Анциферов¹, А.А. Глухов¹, В.А. Анциферов¹

¹ Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), Донецк, ДНР, e-mail: Glukhov1964@yandex.ru

Аннотация: Приведен реальный пример построения границ геологических аномалий по отраженным волнам на сейсмограммах общего пункта возбуждения и общего пункта приема, который базируется на использовании специализированного программного обеспечения. Предлагаемый граф обработки представляет собой процесс последовательного выполнения ряда этапов. После сортировки сейсмических записей используется полосовая и режекторная фильтрация сейсмических записей, подбирается оптимальная полоса пропускания фильтра, разделяются находящиеся в интерференции оси синфазности волн различного происхождения. Процедура выделения осей синфазности информативных волн выполняется по точкам первых вступлений. По данным точкам автоматически строятся эллипсы таким образом, чтобы их фокусы находились в местах расположения пунктов возбуждения и сейсмоприемников, а значение удвоенных полуосей было бы равно произведению скорости распространения волны на время ее первого вступления. Критерием наличия отражающих границ является характерное сближение либо пересечение эллипсов в локальной зоне предполагаемой отражающей границы. Применяемый алгоритм обработки данных позволяет выявлять тектонические нарушения в радиусе до 200 м вокруг забоя горной выработки. Определение положения отражающих границ на больших расстояниях от забоя исследуемой выработки носит оценочный характер. Разработанные алгоритмы и программное обеспечение могут быть использованы геофизическими службами и специализированными геологоразведочными организациями для обработки и анализа результатов сейсмических исследований при прогнозе структуры углепородного массива.

Ключевые слова: шахтная сейсморазведка, программное обеспечение, сейсмическая локация, сейсмограммы, метод эллипсов.

Для цитирования: Анциферов А. В., Глухов А. А., Анциферов В. А. Шахтный сейсмический прогноз тектонических нарушений по отраженным волнам методом локации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6. – С. 131–139. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-131-139.

Mine seismic prediction of tectonic faults by reflected waves using the method of location

A.V. Antsiferov¹, A.A. Glukhov¹, V.A. Antsiferov¹

¹ Republican Academic R&D Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying (RANIMI), Ministry of Education and Science of the Donetsk People's Republic, Donetsk, DPR, e-mail: Glukhov1964@yandex.ru

Abstract: The article presents the case-study of geological anomaly delineation by reflected waves in seismic logs of the common excitation point and the common receipt point using a dedicated software. The proposed data processing flow consists in consistent fulfillment of a sequence of stages. Sorting of seismic logs is followed by band and band-elimination filtering, selection of optimal filter passband and identification of interfering axes of phase synchronization of different-nature waves. The axes of phase synchronization of information-bearing waves are identified by the points of the first arrivals. By these points, ellipses are automatically drawn so that their focuses are at the excitation and receipt points while the value of doubled semi-axes is equal to the product of velocity and first arrival time of a wave. The criterion of reflecting boundaries is the distinctive approach or intersection of the ellipses in a local zone of a supposed reflecting boundary. The data processing algorithm allows revealing tectonic faults within a radius to 200 m around a roadhead. Reflecting boundaries at greater distances from roadheads are located on an estimation basis. The developed algorithm and software can be used by geophysical services and specialized geological exploration agencies for processing and analysis of seismic survey data when predicting structure of coal-and-rock masses.

Key words: mine seismic survey, software, seismic location, seismic logs, method of ellipses.

For citation: Antsiferov A. V., Glukhov A. A., Antsiferov V. A. Mine seismic prediction of tectonic faults by reflected waves using the method of location. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6):131-139. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-131-139.

Введение

Добыча угля подземным способом является процессом наиболее сложным по сравнению с разработкой других полезных ископаемых. Она требует решения целого ряда проблем, возникающих в результате влияния самых разнообразных факторов. Основным из таких факторов являются горно-геологические условия залегания угольных пластов, от которых зависят способ выемки угля, рентабельность производства и безопасность труда. Непредвиденные встречи с геологическими нарушениями при отработке угольных пластов не только вызывают экономические потери, но и являются причиной чрезвычайных ситуаций. В связи с этим надежный прогноз горно-геологических условий залегания угольных пластов является актуальной задачей первостепенной важности.

Пластовая сейсморазведка проявила себя эффективным методом прогноза геологических нарушений. Целый ряд работ посвящен описанию ее основ [1 – 5].

В работе [1] уделено внимание первому из разработанных вариантов, базирующемуся на использовании каналовых волн. Позже перечень типов информативных волн был расширен за счет использования боковых волн [2, 3]. Как правило, определяющими факторами формирования структуры волновых полей являются резкость акустических границ между углем и вмещающими породами, строение угольного пласта и сближенные пласты [2, 3]. Основы метода шахтной пластовой сейсморазведки были подробно рассмотрены для условий различных угольных бассейнов [6, 7]. В частности, в [6] дан сравнительный анализ особенностей использования метода на угольных пластах Украины, России и Казахстана, а в работе [8] сделан обзор опыта применения пластовой сейсморазведки в условиях Китая.

В ряде публикаций дан анализ критериев выявления обнаружения геологических нарушений разных типов [2 – 4, 9 – 11], теоретических и методических

аспектов выполнения сейсмических работ [2 – 4, 12 – 15].

Большое число публикаций уделено методикам прогноза распределения мощности угольного пласта в плане лавы [16 – 18], основанным на анализе дисперсионных зависимостей регистрируемого сигнала. Эффективные алгоритмы расчета таковых представлены в работе [19]. Появились публикации об использовании метода для прогноза горно-геологической ситуации не только для угольных, но и для соляных шахт [20].

В статье приведены примеры построения границ геологических аномалий по отраженным волнам, полученным методом сейсмической локации на сейсмограммах общего пункта возбуждения (ОПВ) и общего пункта приема (ОПП), которые базируются на использовании разработанного в РАНИМИ ДНР специализированного программного обеспечения. Оно предназначено для автоматизации обработки и анализа результатов сейсмических исследований при прогнозе структуры углепородного массива. В программном обеспечении реализованы стандартные и модифицированные графы обработки и анализа результатов сейсмических исследований по методам отраженных волн (МОВ), проходящих волн (МСП), сейсмической локации впереди забоя (МСЛ), а также граф обработки с использованием дифрагированных волн (МДВ).

Порядок обработки материалов сейсморазведки

В качестве исходных данных для исследований выступают наборы сейсмограмм, полученные в результате шахтных сейсмических наблюдений МОВ либо МСЛ по стандартным схемам [2].

Предлагаемый граф обработки представляет собой процесс последовательного выполнения ряда этапов. На первом выполняется сортировка сейсмических

записей по ОПВ или ОПП. На втором используется полосовая и режекторная фильтрация сейсмических записей.

Полосовая фильтрация может применяться произвольное количество раз с изменяемыми параметрами. При этом каждая последующая процедура фильтрации производится по исходному набору сейсмотрасс. Это необходимо для того, чтобы, не выходя из процесса корреляции годографов ОПВ или ОПП, подобрать оптимальную полосу пропускания фильтра и таким образом разделить находящиеся в интерференции оси синфазности волн различного происхождения. В разработанном программном обеспечении предусмотрена возможность одновременного вычисления пробных фильтрованных наборов сейсмотрасс в заданном диапазоне изменяемых параметров, что позволяет значительно сократить время на подбор.

Процедуры режекторной фильтрации применяются при необходимости. Наличие частот, которые следует подавить, определяется по частотному спектру сигнала. Это могут быть как электрические помехи от линий переменного тока, так и квазигармонические колебания от работающих механизмов.

Далее необходимо выделить оси синфазности. Эта процедура выполняется по точкам первых вступлений информативной волны. По данным точкам строятся эллипсы таким образом, чтобы их фокусы располагались в местах расположения пунктов возбуждения (ПВ) и сейсмоприемников (СП), а значение удвоенных полуосей было бы равно произведению скорости распространения волны на время ее первого вступления [1, 2].

Критерием наличия отражающих границ является характерное сближение либо пересечение эллипсов в локальной зоне предполагаемой отражающей границы.

Наиболее трудоемким этапом является построение и нанесение на схему наблюдений упомянутых выше эллипсов. Для каждой точки на оси синфазности предполагаемой информативной волны следует рассчитать и построить свой эллипс. Таких построений может быть выполнено несколько десятков или даже сотен. Как правило, подобные операции выполняются вне программного обеспечения обработки данных, например в системе AutoCAD. В рассматриваемом подходе эта операция встроена в программное обеспечение и автоматизирована.

Пример обработки данных сейсмической локации

Рассмотрим пример обработки данных сейсмической локации в газодре-

нажном штреке 332Д6-3 шахты «Каззахстанская». Сейсмические исследования проводились с целью определения вероятного расположения геологических нарушений впереди забоя.

Шесть двухкомпонентных геофонов были расположены на груди забоя, на базе 4 м; 12 пунктов возбуждения располагались по 6 шт. по обеим стенкам выработки. В результате обработки было выявлено несколько нарушений. Поскольку для каждого нарушения был использован один и тот же алгоритм, остановимся подробнее на одном из них.

На первом этапе на одной из сейсмограмм ОПВ (в данном случае это ПВ 1) следует выбрать хорошо прослеживаемую ось синфазности и отметить ее по вступлению первого максимума (рис. 1). В качестве первых вступлений

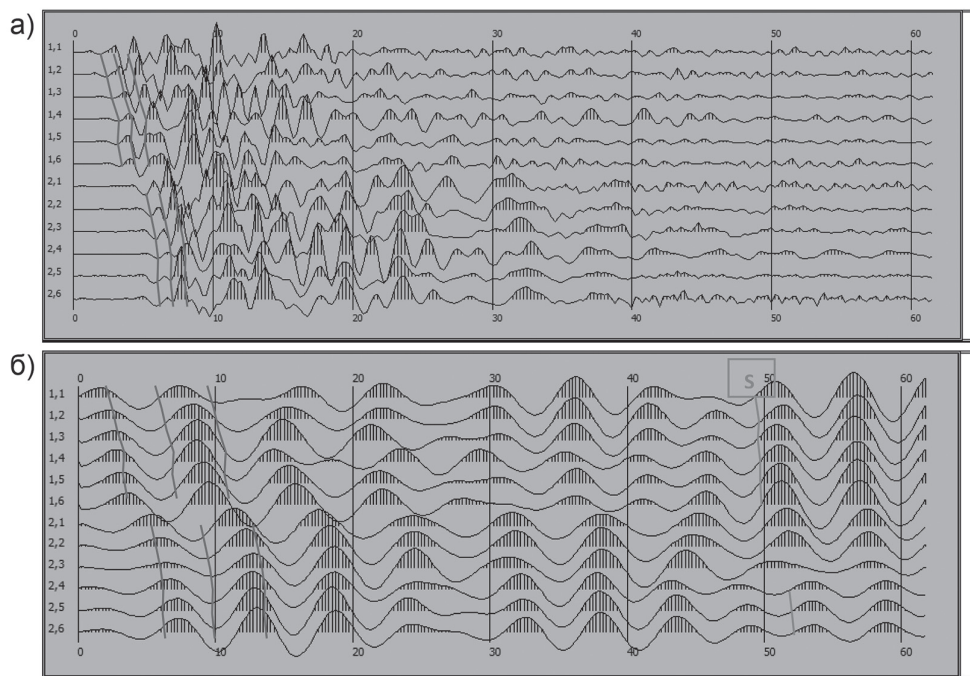


Рис. 1. Шахта «Каззахстанская». Газодренажный штрек 332Д6-3. Обработка данных МСЛ. К определению времени и фазы вступления прямой и отраженной S-волны на сейсмограммах ОПВ (ПВ 1, ПВ 2): открытый канал (а); после фильтрации (б)

Fig. 1. Kazhstanskaya Mine. Drainage level 332D6-Z. Seismic detection and ranging data processing. Detection of the time and phase of the events – direct and reflected S-wave on common source point (CSP) seismograms (shotpoint 1, shotpoint 2): a – open channel; b – after filtering

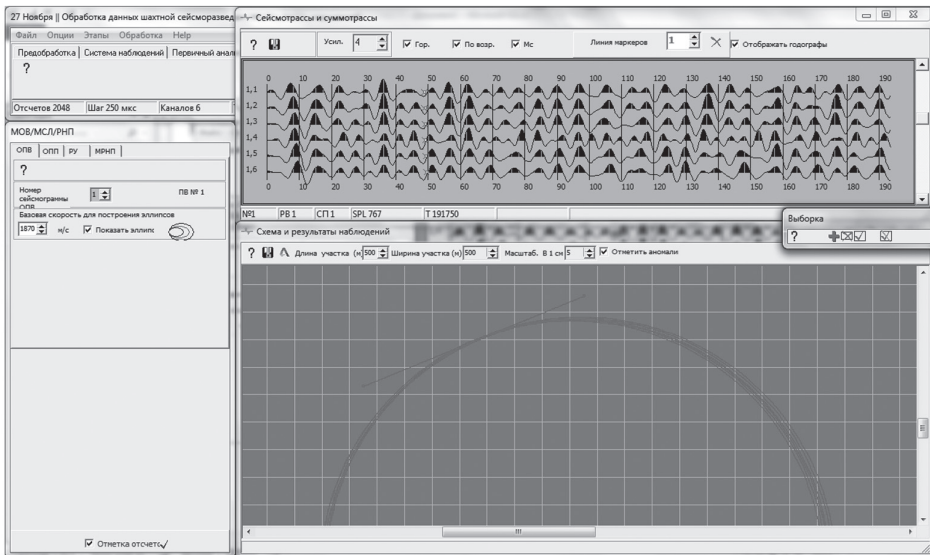


Рис. 2. Шахта «Казakhstanская». Газодренажный штрек 332Д6-3. Обработка данных МСЛ. Начальная стадия корреляции отражающей границы

Fig. 2. Kazhastanskaya Mine. Drainage level 332D6-Z. Seismic detection and ranging data processing. The setting stage of reflection picking

принимается первая удобная для корреляции годографа фаза отраженной волны.

На рис. 1, а видно, что вступления прямой волны (в данном случае это S-волна) хорошо прослеживаются, и первый экстремум волны имеет условно положительное направление смещения. Вступления отраженных волн однозначно выделить затруднительно даже на малых (до 30 мс) промежутках времени, а время вступления рассматриваемой в примере отраженной волны (около 50 мс) выделить практически невозможно. После полосовой фильтрации (полоса пропускания: 30–50–200–250 Гц) и автоматической регулировки уровня записи (АРУ) на месте первых вступлений S-волны возникает положительный экстремум, а видимый период колебания увеличивается примерно в 4 раза — от 1,5 до 6,0 мс. При этом вступления отраженной S-волны на сейсмограмме ОПВ, относящейся к ПВ 1, прослеживаются хорошо, а на ПВ 2 — только на отдельных каналах.

В качестве скорости распространения волны предлагается брать среднее значение за пределами зоны нарушенных проходкой пород вблизи забоя исследуемой выработки. Необходимо начинать обработку данных МСЛ с отражающей границы, расположенной недалеко от забоя — по сейсмограммам ОПВ, ближних к забою ПВ. В рассматриваемом примере за исходное значение принимаем $V_s = 1870$ м/с. Следует иметь в виду, что при таком порядке значений V_s , погрешность в определении скорости в 100 м/с меняет положение отражающей границы в плане на 2–3 м.

Отмечая годограф отраженной волны, мы тем самым автоматически задаем эллипсы. Построив семейство эллипсов для ПВ 1 (рис. 2), необходимо построить касательную к точке максимального сближения эллипсов и таким образом отметить границу аномалии. При этом необходимо проследить, чтобы маркеры точек соответствующей касательной теоретического годографа (они

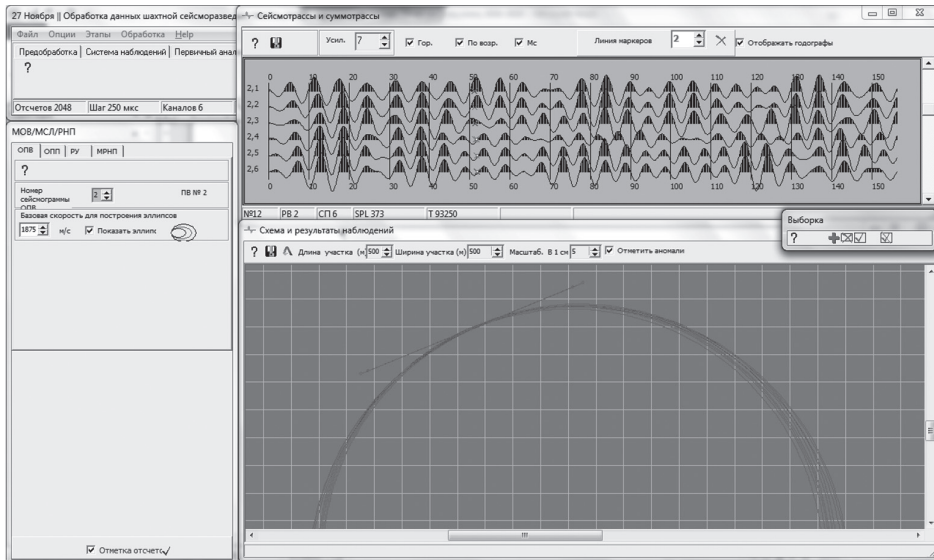


Рис. 3. Шахта «Казхастанская». Газодренажный штрек 332Д6-3. Обработка данных МСЛ. Корреляция отражающей границы по ПВ 2

Fig. 3. Kazhastanskaya Mine. Drainage level 332D6-Z. Seismic detection and ranging data processing. Reflection picking in shotpoint 2

рассчитываются автоматически) наилучшим образом совпадали с отмеченными на сейсмоотрассах.

Далее переходим к сейсмограмме ОПВ следующего ПВ (ПВ 2) и таким же образом строим семейство эллипсов, ориентируясь на теоретический годограф и среднюю скорость для ПВ 1 (рис. 3). При необходимости корректируем значение средней скорости. Строим новую касательную к точке максимального сближения эллипсов. Затем аналогичные процедуры производим для всех сейсмограмм ОПВ для всех оставшихся ПВ.

В конечном итоге было установлено, что искомое геологическое нарушение находится впереди забоя на расстоянии 49,4 м от правого края забоя и на расстоянии 46,8 м от левого края. Угол между плоскостью сместителя и осью выработки составляет 64° .

Опыт использования на ряде шахт показал, что применяемый алгоритм обработки данных позволяет выявить зна-

чительную часть тектонических нарушений в радиусе до 200 м вокруг забоя горной выработки. Его можно использовать и на больших расстояниях, но при этом необходимо учитывать, что в этом случае семейство эллипсов, касательной к которому является отражающая граница, фокусируется на очень малой базе — менее 1 м. При этом определение угла наклона отражающей границы (линии нарушения) по отношению к оси выработки становится очень зависимым от правильности определения средней скорости в среде. С учетом того, что средняя скорость в среде может закономерно изменяться при удалении от места ее определения в выработке за счет неоднородностей в строении породного массива, определение положения отражающих границ на расстоянии от забоя исследуемой выработки порядка 200 м и более носит оценочный характер. В особенности это касается нарушений, залегающих под малым (менее 45°) углом по отношению к оси выработки.

Заключение

Представленный алгоритм обработки сейсмических данных лежит в основе разработанной методики сейсмической локации, которая к настоящему времени хорошо апробирована на практике.

В совокупности с разработанным в рамках предлагаемого подхода программным обеспечением она может быть

использована геофизическими службами и специализированными геологоразведочными организациями для обработки и анализа результатов сейсмических исследований при прогнозе структуры углепородного массива.

Авторы благодарят Татьяну Скопич за помощь в редактировании и оформлении статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dresen L., Rüter H.* Seismic Coal Exploration, Part B, Seismics: Handbook of Geophysical Exploration, Section I. Seismic Exploration. Pergamon, 1994. 486 p.
2. *Анциферов А. В.* Теория и практика шахтной сейсморазведки. — Донецк: ООО Алан, 2002. — 312 с.
3. *Анциферов А. В., Глухов А. А.* Математическое моделирование в шахтной сейсморазведке. — Киев: Наукова думка, 2012. — 255 с.
4. *Захаров В. Н.* Сейсмоакустическое прогнозирование и контроль состояния и свойств горных пород при разработке угольных месторождений. — М.: ФГУП ННЦ ГП ИГД им. А.А. Скочинского, 2002. — 172 с.
5. *Захаров В. Н., Забурдяев В. С., Артемьев В. Б.* Углепородные массивы: прогноз устойчивости, риски, безопасность. — М.: Горное дело, 2013. — 277 с.
6. *Antsiferov A. V., Glukhov A. A.* Review of seismograms typical for an in-seam seismic technique in conditions of different coal basins / Progressive technologies of coal, coalbed methane, and ores mining. Taylor & Francis Group, 2014, pp. 61 – 64.
7. *Соколов С. В., Салтымаков Е. А., Кормин А. Н.* Комплексные геофизические исследования состояния углепородного массива в условиях Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2017. — № 2. — С. 66 – 70.
8. *Lu Jun, Meng Xinghun, Wang Yun* Prediction of coal seam details and mining safety using multicomponent seismic data. A case history from China // Geophysics. 2016. Vol. 81. Pp. 149 – 165.
9. *Mason I., Buchanan D., Boorer A.* Fault location by underground seismic survey // Institution of Electrical Engineers. 1980. Vol. 127. Pp. 322 – 336.
10. *Шеле Ф.* Исследование геологического строения пластов каменного угля сейсмическим методом с помощью аппаратуры SUMMIT II EX // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 10. — С. 145 – 154.
11. *Gochioco L. M.* Advances in seismic reflection profiling for US coal exploration // The Leading Edge. 1991. Vol. 10. No 12. Pp. 24 – 29. DOI: 10.1190/1.1436798.
12. *Friedel M. J., Tweeton D. R., Jackson M., Jessop J. A., Billington S.* Mining applications of seismic tomography / SEG Technical Program Expanded Abstracts. Society of Exploration Geophysicists, pp. 58 – 62.
13. *Hongliang W., Maochen G.* Seismic wave propagation in coal seams: finite element modeling and field tests // International Journal of Mining and Mineral Engineering. 2014. Vol. 5, No 3. Pp. 229 – 385.
14. *Рубан А. Д., Захаров В. Н., Аверин А. П., Вартанов С. А.* Программный комплекс итерационного линейного восстановления строения и нарушенности угольного пласта на основе информативных параметров при сейсмопросвечивании // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — № 3. — С. 177 – 182.

15. Захаров В. Н., Аверин А. П., Вартанов С. А. Анализ алгоритмов лучевой томографии для прогноза нарушенности выемочного столба // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 3. – С. 183–190.

16. Waclawik P., Schott W. Utilization of innovation of the ISS method – in seam seismics at the CSM Mine // Gornicze Zagrozenia Naturalne. 2011. Vol. 2. Pp. 517–524.

17. Schott W., Waclawik W. On the quantitative determination of coal seam thickness by means of in-seam seismic surveys // Canadian Geotechnical Journal. 2015. Vol. 52. No 10. Pp. 1496-1504. DOI: 10.1139/cgj-2014-0466.

18. Schott W., Brandt K. Investigation of seam thickness and seam splitting within a long-wall panel by an in-seam seismic survey / 22nd International Conference on Ground Control in Mining. 2003. Vol. 2. Pp. 152–156.

19. D. Räder, W. Schott, L. Dresen, H. Rüter Calculation of dispersion curves and amplitude-depth distributions of Love channel waves in horizontally-layered media // Geophysical Prospecting. 1985. Vol. 33. No 6. Pp. 80–86.

20. J. Belisle, R.R. Stewart In-seam GPR and 2-C seismic investigations at the Goderich, Ontario salt mine // CREWES Research Report. 1996. Vol. 8. Pp. 351–355. **ПАБ**

REFERENCES

1. Dresen L., Rüter H. *Seismic Coal Exploration*, Part B, Seismics: Handbook of Geophysical Exploration, Section I. Seismic Exploration. Pergamon, 1994. 486 p.

2. Antsiferov A. V. *Teoriya i praktika shakhtnoy seysmorazvedki* [Theory and practice of seismic exploration in mines], Donetsk, OOO Alan, 2002, 312 p.

3. Antsiferov A. V., Glukhov A. A. *Matematicheskoe modelirovanie v shakhtnoy seysmorazvedke* [Mathematical modeling in seismic exploration in mines], Kiev, Naukova dumka, 2012, 255 p.

4. Zakharov V. N. *Seismoakusticheskoe prognozirovanie i kontrol' sostoyaniya i svoystv gornykh porod pri razrabotke ugol'nykh mestorozhdeniy* [Seismoacoustic prediction and monitoring of rock conditions and properties when developing coal deposits], Moscow, 2002, 172 p.

5. Zakharov V. N., Zaborudyaev V. S., Artem'ev V. B. *Ugleporodnye massivy: prognoz ustoychivosti, riski, bezopasnost'* [Coal measures: prediction of stability, risks, safety], Moscow, Gornoe delo, 2013, 277 p.

6. Antsiferov A. V., Glukhov A. A. Review of seismograms typical for an in-seam seismic technique in conditions of different coal basins. *Progressive technologies of coal, coalbed methane, and ores mining*. Taylor & Francis Group, 2014, pp. 61–64.

7. Sokolov S. V., Saltymakov E. A., Kormin A. N. Integrated geophysical research of coal measures conditions in the Kuznetsk Basin. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017, no 2, pp. 66–70. [In Russ].

8. Lu Jun, Meng Xinghun, Wang Yun Prediction of coal seam details and mining safety using multicomponent seismic data. A case history from China. *Geophysics*. 2016. Vol. 81. Pp. 149–165.

9. Mason I., Buchanan D., Booer A. Fault location by underground seismic survey. *Institution of Electrical Engineers*. 1980. Vol. 127. Pp. 322–336.

10. Shepe F. Seismic approach to studying geological structure of coal measures aided by the SUMMIT II EX system. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 10, pp. 145–154. [In Russ].

11. Gochioco L. M. Advances in seismic reflection profiling for US coal exploration. *The Leading Edge*. 1991. Vol. 10. No 12. Pp. 24–29. DOI: 10.1190/1.1436798.

12. Friedel M. J., Tweeton D. R., Jackson M., Jessop J. A., Billington S. Mining applications of seismic tomography. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*. Society of Exploration Geophysicists, pp. 58–62.

13. Hongliang W., Maochen G. Seismic wave propagation in coal seams: finite element modeling and field tests. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2014. Vol. 5, No 3. Pp. 229 – 385.

14. Ruban A. D., Zakharov V. N., Averin A. P., Vartanov S. A. Software system for iterative nonlinear regeneration of coal seam structure and disturbance based on information parameters in in-seam seismic survey. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010, no 3, pp. 177 – 182. [In Russ].

15. Zakharov V. N., Averin A. P., Vartanov S. A. Analysis of ray tomography algorithms to predict disturbance of the extraction pillar. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010, no 3, pp. 183 – 190. [In Russ].

16. Waclawik P., Schott W. Utilization of innovation of the ISS method – in seam seismics at the CSM Mine. *Gornicze Zagrozenia Naturalne*. 2011. Vol. 2. Pp. 517 – 524.

17. Schott W., Waclawik W. On the quantitative determination of coal seam thickness by means of in-seam seismic surveys. *Canadian Geotechnical Journal*. 2015. Vol. 52. No 10. Pp. 1496-1504. DOI: 10.1139/cgj-2014-0466.

18. Schott W., Brandt K. Investigation of seam thickness and seam splitting within a longwall panel by an in-seam seismic survey. *22nd International Conference on Ground Control in Mining*. 2003. Vol. 2. Pp. 152 – 156.

19. D. Räder, W. Schott, L. Dresen, H. Rüter Calculation of dispersion curves and amplitude-depth distributions of Love channel waves in horizontally-layered media. *Geophysical Prospecting*. 1985. Vol. 33. No 6. Pp. 80 – 86.

20. J. Belisle, R. R. Stewart In-seam GPR and 2-C seismic investigations at the Goderich, Ontario salt mine. *CREWES Research Report*. 1996. Vol. 8. Pp. 351 – 355.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Глухов Александр Александрович¹ – д-р техн. наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом, e-mail: Glukhov1964@yandex.ru,

Анциферов Андрей Вадимович¹ – д-р техн. наук, профессор, член-корр. НАН Украины, директор,

Анциферов Вадим Андреевич¹ – канд. техн. наук, старший научный сотрудник,

¹ Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), Донецк, ДНР.

Для контактов: Глухов А.А., e-mail: Glukhov1964@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.A. Glukhov¹, Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher,

Head of Department, e-mail: Glukhov1964@yandex.ru,

A.V. Antsiferov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Corresponding Member,

National Academy of Sciences of Ukraine, Director,

V.A. Antsiferov¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,

¹ Republican Academic R&D Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying (RANIMI), Ministry of Education and Science of the Donetsk People's Republic, 283004, Donetsk DPR.

Corresponding author: A.A. Glukhov, e-mail: Glukhov1964@yandex.ru.

Получена редакцией 09.12.2019; получена после рецензии 09.02.2020; принята к печати 20.05.2020.

Received by the editors 09.12.2019; received after the review 09.02.2020; accepted for printing 20.05.2020.