

УДК 550.3:551:534.8

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.92.07>

А. Садчиков, канд. техн. наук, ст. препод.,

E-mail: a.sadchikov@kstu.kz;

Н. Желаетова, магистр, ст. препод.,

E-mail: gnipnv@gmail.com;

Ж. Токушева, магистр, ст. препод.,

E-mail: jtokusheva@mail.ru;

М. Пономарева, канд. техн. наук, доц.,

E-mail: mv\_ponomareva18@mail.ru;

Карагандинский государственный технический университет,  
пр. Н. Назарбаева, 56, г. Караганда, 100027, Казахстан

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СЕЙСМОТОМОГРАФИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗАДАЧ В ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМ НАПРАВЛЕНИИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Карагандинский угольный бассейн характеризуется сложным строением. Наличие геологических несогласий, таких как тектонические нарушения, разрывы, изменчивая гипсометрия пласта и др. затрудняют проведение подземных горных работ. Безопасная и производительная работа очистных забоев при подземной добыче угля предполагает заблаговременный и надежный прогноз горно-геологических условий строения и состояния угленосного массива из горных выработок. Наилучшую и достоверную картину тектонического строения угленосного массива позволяет получить использование методов шахтной сейсморазведки для изучения геологического строения и условий залегания угольного пласта и вмещающих пород.

Основной целью внедрения современных методов шахтной сейсморазведки было проведение математического моделирования для оценки возможности выделения тектонической нарушенности с амплитудой смещения порядка и выше мощности пласта, с использованием различных методов подземной сейсморазведки – метода сейсмического просвечивания (МСП) и метода отраженных волн (МОВ).

Для этого были разработаны физические модели участков угленосного массива, включающие в себя геометрическое описание геологических структур, распределение плотностей пород, скоростей распространения волн и их влияние на сжатие и сдвиг горного массива. Одна из моделей соответствовала участку пласта без геологических нарушений, а вторая – участку с тектоническими нарушениями с амплитудами смещения от 5 до 15 м.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке современных эффективных методик прогноза состояния горного массива в сложных горно-геологических условиях как Карагандинского угольного бассейна, так и других угольных бассейнов, имеющих сложное геологическое строение.

Первоначально сейсморазведочные работы выполнялись методом отраженных волн по методике общей глубинной топки. Однако по-прежнему актуальной оставалась проблема получения объективного изображения геологической среды, связанная с особенностями возбуждения упругих волн в шахтных условиях (особенности генерируемого волнового поля, закономерности его распространения, направленность источника). Разработан и применен метод шахтной сейсморазведки, основанный на регистрации каналовых и граничных волн, позволяющий получить детальную геолого-геофизическую модель участка месторождения. За счет обработки обоих типов волн достигается повышение разрешающей способности метода и возможность получения информации как об угольном пласте, так и о вмещающих его породах, в частности состоянии кровли пласта.

В работе приведена методика измерений в шахтных условиях, показаны результаты ее опробования при выполнении полевых работ в условиях шахт, получены сейсмические характеристики с высокой контрастностью и четкой прослеживаемостью отражающих границ.

Ключевые слова: Карагандинский угольный бассейн, тектонические нарушения, шахтная сейсморазведка, направленность источника, поперечные волны, каналовые и граничные волны.

Основной проблемой изучения строения угольных пластов, связанной с добычей угля в шахтах, является недостаток геологической информации. С появлением компьютеров и цифровой записи сигнала появилась возможность применять новые методы измерений и обработки информации. Так, в мировой практике внедрен метод сейсмотомографии, который стал использоваться как с поверхности, так и в шахтах (Туркель, 2005; Азаров и Яковлев, 1988; Глухов и др., 1994; Садчиков и др., 2016).

На рис. 1 приведена схема прохождения и регистрации отраженной и просвеченной волн. Из рисунка видно, что сейсмическая волна, проходя через нарушенные зоны, отражается от них (отраженные волны) и проходит сквозь них (прямые волны). При методе отраженных волн сигнал выходит из пункта возбуждения 2 (ПВ 2) и происходит регистрация сигнала, отраженного от какой-либо поверхности в пунктах приема 2 и 3 (ПП 2 и ПП 3). Но если нет информации о скорости волны, то место расположения и границы нарушенного участка будут определены не точно. В методе сейсмического просвечивания сигнал выходит из пункта возбуждения 1 (ПВ 1), а регистрируется в пункте приема 1 (ПП 1). Исходя из данной схемы, зная расстояние и время прохождения регистрируемого сигнала, можно вычислить скорость прохождения волны. Этот метод дает более достоверную информацию как о

расположении нарушенной зоны, так и о ее параметрах, таких как размеры зоны, амплитуда смещения угольного пласта и др.

В целом сейсморазведка для решения шахтных задач в мире применяется достаточно широко, как при наземных, так и при подземных (шахтных) исследованиях (Глухов и др., 1994; Садчиков и др., 2016; Анциферов, 2002; Азаров и Яковлев, 1988; Савич и др., 1969; Бабкин, 2010; Zhou et al., 2014; Barthwal and van der Baan, 2019; Lu et al., 2016; Greenhalgh et al., 2016). Шахтная сейсморазведка проводится с целью изучения геологического строения и решения горнотехнических задач и выполняется с исследованием как продольных (Р), так и поперечных (S) волн (Туркель, 2005; Азаров и Яковлев, 1988; Бабкин, 2010; Lu et al., 2016; Greenhalgh et al., 2016).

Прогноз строения горного массива сейсмическим методом просвечивания опирается на использование наборов критериев, свидетельствующих о наличии тех или иных геологических структур и аномалий. При этом одним из наиболее эффективных подходов в определении характеристик аномалий является сейсмическая томография. В шахтной сейсморазведке при использовании метода сейсмического просвечивания (МСП) широко используются методы томографии, основанные на следующем подходе.

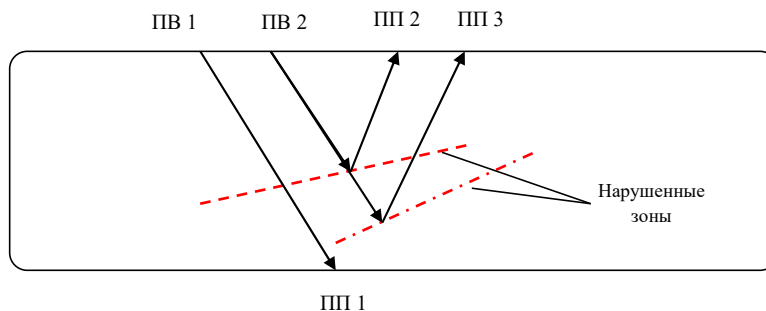


Рис. 1. Схема прохождения отраженных и прямых волн

Исследуемый участок разбивается на зоны  $eij$  (рис. 2). Для каждой из  $eij$  выбирается совокупность  $K$  сейсмотрасс, лучи которых проходят через данную зону. На основе значений характеристик  $A_k$  (полученных в результате обработки информативных волновых пакетов сейсмотрасс), длин путей лучей от источника до приемника  $R_k$  и длин их путей  $rk, ij$  по  $eij$  оценивается то значение характеристики  $A_{ij}$ , которое было бы у сейсмотрасс в том случае, если бы вся среда имела бы такие же параметры, как в зоне  $eij$ . При этом предполагается, что любые составляющие сейсмотрассу колебания проходят один и тот же путь вдоль ее луча. Этот чрезвычайно эффективный метод прогноза горногеологических условий залегания угля не находит распространения при решении задач наземной сейсморазведки, базирующейся на анализе характеристик отраженных и преломленных волн. При этом характерно, что колебания за один и тот же временной промежуток могут попасть от пункта возбуждения (ПВ) к сейсмоприемнику (СП) разными путями, проходя при этом различные расстояния.

Адаптация метода сейсмической томографии на проходящих волнах для решения задач наземной сейсморазведки является чрезвычайно актуальной задачей, решение которой позволило бы повысить эффективность и качество сейсмического прогноза. В данной статье обоснована возможность решения данной проблемы и приведены примеры практического применения вышеуказанного подхода.

Сейсмическую томографию можно трактовать как процедуру моделирования пространственного распределения свойств среды на основе анализа регистрируемых значений характеристик волнового поля (здесь и далее будем обозначать их как  $V$  – скорость и  $A$  – амплитуда). Классическим примером можно считать расчет распределения скоростных показателей среды путем анализа скоростей прихода волновых пакетов. Широкое распространение данного подхода обусловлено тем, что скорости регистрируемых волновых пакетов непосредственно определяются геометрией участков исследуемой толщи пород и их скоростными характеристиками.

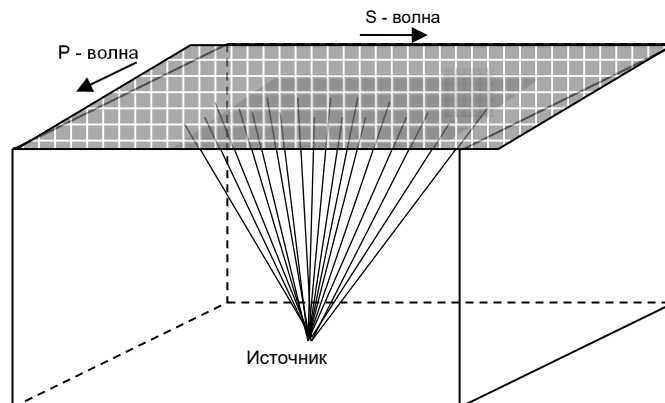


Рис. 2. Основы метода сейсмотомографии

Принципы применения амплитудной томографии существенно отличаются от принципов скоростной. Амплитуда регистрируемых волновых пакетов зависит от целого ряда факторов.

Одной из наиболее важных регистрируемых характеристик волновых пакетов является скорость первых вступлений. Ее можно рассчитать по формуле среднего значения

$$V_n = \frac{L}{t} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}}, \quad (1)$$

где  $L$  – общая длина сейсмического луча;  $L_i$  – длина луча;  $V_i$  – скорость распространения волны исследуемого типа в зоне  $eij$ ;  $t$  – время движения волны.

Амплитуда волновых пакетов зависит от целого ряда параметров (Туркель, 2005; Азаров и Яковлев, 1988; Глухов и др., 1994).

Во-первых, это естественное расхождение фронта колебаний при удалении от источника. Степень расхождения фронта волны зависит в первую очередь от ее природы.

В шахтной сейсморазведке широко используются интерференционные граничные и каналовые (нормальные) волны, образованные в результате каналирования колебательной энергии пластами полезных ископаемых (напр., уголь, горючие сланцы). Они имеют иные законы убывания. В дальнейшей зоне изменение потенциала каналовых волн описывается законом

$$A = \frac{1}{\sqrt{r}}, \quad (2)$$

а граничных (Туркель, 2005; Азаров и Яковлев, 1988; Глухов и др., 1994; Анциферов, 2002)

$$A = \frac{1}{\sqrt{r^2}}. \quad (3)$$

Во-вторых, это изменение амплитуды за счет поглощения средой колебательной энергии, которое описывается законом

$$A = \exp(-\beta \cdot r), \quad (4)$$

где коэффициент поглощения  $\beta$  также зависит от типа волн (каналовые, граничные и т.д.), их поляризации и частоты. Указанные зависимости достаточно хорошо изучены как теоретически, так и практически (Азаров и Яковлев, 1988; Анциферов, 2002; Савич и др., 1969).

В-третьих, это характеристики направленности источников и приемников сейсмических колебаний, учет которых не представляет сложности, поскольку данная информация является априори известной.

В-четвертых, это условия контакта источников колебаний и сейсмоприемников со средой. Обеспечение единообразия условий контакта представляет собой чрезвычайно сложную задачу. В общем случае для ее решения приходится использовать усреднение по многократным возбуждениям сигнала на каждой из стоянок.

В-пятых, это рассеяние колебательной энергии на любых неоднородностях толщи горных пород. Это чрезвычайно сложный фактор, поскольку речь идет как об известных априори неоднородностях, так и о неизвестных, в том числе о тех, которые являются объектом исследований.

Таким образом, исходя из вышесказанного с учетом зависимостей (2, 3, 4), можно сделать выводы, что амплитуда, а следовательно, и энергетическая составляющая каналовой волны выше, чем у граничной волны, в связи с чем информативность данных при регистрации каналовых волн лучше. Так же при обработке результатов, учитывающих энергетическую составляющую (амплитуду сигнала), необходимо принимать во внимание потерю энергии при прохождении волной расстояния. Другими словами, надо вводить поправки с учетом длины пути проходимой сейсмической волной.

Сейсмические лучи, проходящие через горный массив, встречают на своем пути аномальные изменения этого массива, такие как тектонические нарушения, размывы, скопления воды и газа. Эти лучи претерпевают изменения своих параметров: времени прохождения, частоты колебания, амплитуды волны и др. Таким образом, это дает возможность выделять "нарушенные" и "ненарушенные" участки массива.

Обнаружение и трассирование малоамплитудной тектонической нарушенности угольных пластов с высокой степенью детальности перед непосредственным проведением горных работ остается актуальной задачей, несмотря на хорошую изученность тектонического строения массива на этапе разведки и доразведки угольных месторождений. На безопасность труда и эффективность отработки угольных пластов большое влияние оказывают малоамплитудные разрывные нарушения угольных пластов с амплитудой смещения до 10–15 м и протяженностью до 250–300 м. Достоверность выявления таких нарушений по данным бурения весьма низка и сведения о них носят предположительный характер. Повышение достоверности прогноза разрывных нарушений угольных пластов бурением геологоразведочных скважин по густой сетке приводит к значительному удорожанию работ, и пропуск таких нарушений является скорее обычным явлением, чем исключением (Кенжин и др., 2009).

Начиная с 80-х гг. XX ст. в Карагандинском угольном бассейне начали проводиться работы по определению геологической нарушенности угольного массива современными методами сейсмотомографии. Работы производились отрядом шахтной геофизики в составе экспедиции "Карагандауглераведка". MDGB, а в дальнейшем – "Дружба".

Конвейерный штрек 14В-К<sub>14</sub>-

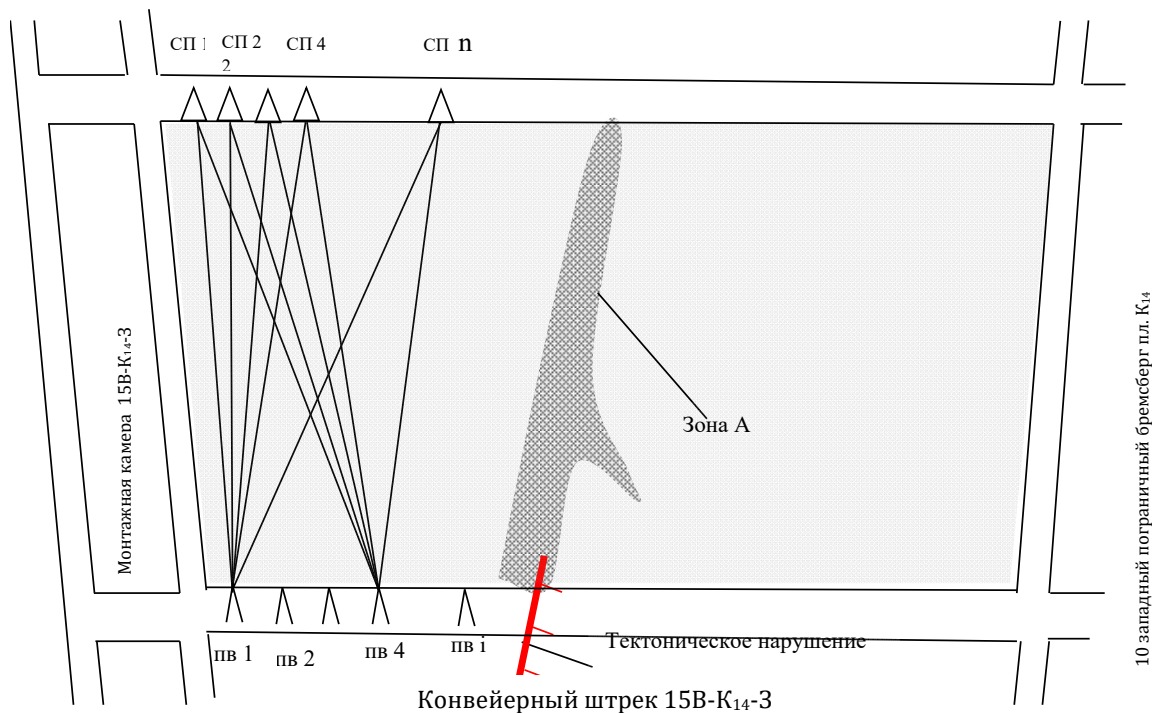


Рис. 3. Схема измерений и результат исследований геофизических работ в лаве 15В-К<sub>14</sub>-3 (шахта им. 50-летия Октябрьской революции)

Карагандинский угольный бассейн является одним. Сначала работы проводились с применением аналоговых сейсмостанций ("Тектоника-1"), а с середины 80-х – цифровых сейсмостанций из газообильных. Подавляющее число шахт Карагандинского бассейна сверхкатегорные. В геологическом строении бассейна принимают участие палеозойские, мезозойские и кайнозойские образования. Карагандинский бассейн принадлежит к типу бисистемных: угленосность связана с каменноугольными и юрскими отложениями. Угли юрского возраста – бурые и разрабатываются открытым способом. Угли карбонового возраста – каменные и представляют промышленный интерес. Угленосные отложения карбона включают в себя четыре угленосные свиты: Ашлярикскую, Карагандинскую, Долинскую и Тентекскую (Кенжин и др., 2009).

Каждая свита представлена пластами сложного геологического строения с различными геологическими несогласиями.

На рис. 3 показаны схема и результат измерений в лаве 15В-К<sub>14</sub>-З на шахте им. 50-летия Октябрьской революции. Измерения производились в конвейерном штреке 14В-К<sub>14</sub>-З, а пункты возбуждения сейсмических колебаний находились в конвейерном штреке 15В-К<sub>14</sub>-З. Расстояние между сейсмодатчиками составляло 5 м. Такое же расстояние (5 м) было между пунктами возбуждения. После обработки результатов методом сейсмической томографии можно выделить зону А (рис. 3). Зона соответствует пониженным значениям скорости сейсмической волны. Можно сделать вывод, что зона А соответствует тектоническому нарушению, подсеченного в конвейерном штреке 15В-К<sub>14</sub>-З, что было подтверждено после отработки лавы.

В заключении можно сделать вывод, что теоретические основы метода сейсмической томографии регистрации просвеченных волн и практическая реализация этого метода и методики измерения дают возможность утверждать о преимуществе данного метода над методом отраженных волн.

#### Список использованных источников

- Азаров, Н.Я., Яковлев, Д.В. (1988). Сейсмоакустический метод прогноза горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений. Москва : Недра.
- Анциферов, А.В. (2002). Теория и практика шахтной сейсморазведки. Донецк : Алан.
- Бабкин, А.И. (2010). Пространственные интерференционные системы сейсмоакустических наблюдений в условиях горных выработок калийных рудников. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 1, 261–267.
- Бабкин, А.И. (2001). Шахтная сейсмоакустика по методике многократных перекрытий (на примере Верхнекамского месторождения калийных солей). *Дис. ... канд. техн. наук*. Пермь : Горный институт УрО РАН.
- Боганик, Г.Н., Гурвич, И.И. (2006). Сейсморазведка: учебник для вузов. Тверь : АИС.
- Глухов, А.А., Захаров, В.Н., Рубан, А.Д. (1994). Моделирование волнового поля в задачах шахтной сейсморазведки методом конечных разностей. *Горный вестник*. Москва : ИГД Скопинского, 16–18.
- Кенжин, Б.М., Смирнов, Ю.М., Цай, Б.Н., Мустафин, Р.К., Саттаров, С.С. (2009). Проведение шахтных сейсмоакустических экспериментов в условиях мощных пластов Карагандинского угольного бассейна. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*, 5 (1), 276–284.
- Кулагов, Е.В. (2012). Особенности сейсмических волн, возбуждаемых в массиве соляных пород на Старобинском месторождении. *Літасфера*, 2 (37).
- Пригара, А.М. (2003). Прогноз строения и свойств горного массива на основе сейсмомоделирования. *Дис. ... канд. техн. наук*. Пермь : Горный институт УрО РАН.
- Савич, А.И., Коптев, В.И., Никитин, В.Н., Яценко, З.Г. (1969). Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород. Москва : Недра.

Садчиков, А.В., Пономарева, М.В., Талерчик, М.П. (2016). Исследование горного массива отработанных шахт. *Труды Университета, Караганда : КартТУ*, 3, 48–50.

Санфиров, И.А., Бабкин, А.И. (2003). Горно-геологические приложения сейсморазведочных исследований во внутренних точках среды. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 10.

Тиркель, М.Г. (2005). Новый вариант томографии при сейсмическом прогнозе строения горного массива. *Донецк: УкрНИИ НАН Украины*, 78–83.

Царев, Р.И., Пригара, А.М., Жуков, А.А. (2019). Возможности сейсморазведки на поперечных волнах. *Материалы конференции EAGE "Инженерная и рудная геофизика"*. Геленджик.

Zhou, B., Hatherly, P., Peters, T. (2014). Cola seismic surveying over near-surface basalts. Experience from Central Queensland, Australia. *Geophysics*, 79, 2, B109–B122.

Barthwal, H., van der Baan, M. (2019). Passive seismic tomography using recorded microseismicity: Application to mining-induced seismicity. *Geophysics*, 84, 1, B41–B57.

Lu, J., Meng, X., Wang, Yu. (2016). Prediction of coal seam details and mining safety using multicomponent seismic data. A case history from China. *Geophysics*, 81, 5, B149–B165.

Greenhalgh, S.A., Masonz, I. M., Sinadinovski, C. (2016). In-mine seismic delineation of mineralization and rock structure. *Geophysics*, 65, 6, 1908–1919.

#### References

- Azarov, N.YA., Yakovlev, D.V. (1988). Seismoakusticheskiy metod prognoza gorno-geologicheskikh usloviy ekspluatatsii ugolnykh mestorozhdeniy. Moskva: Nedra.
- Antsiferov, A.V. (2002). Teoriya i praktika shahtnoy seysmorazvedki. Donetsk : Alan.
- Babkin, A.I. (2010). Spatial interference systems of seismoacoustic observations in the conditions of potash mine workings. *Mining information and analytical Bulletin*, 1, 261–267. [in Russian]
- Babkin, A.I. (2001). Mine seismoacoustics using the method of multiple overlaps (on the example of the Verkhnekamskoye potash deposit). *Thesis ... Cand. Sci. (Tech.)*. Perm: Mining Institute Ural branch of the RAS. [in Russian]
- Zhou, B., Hatherly, P., Peters, T. (2014). Cola seismic surveying over near-surface basalts. Experience from Central Queensland, Australia. *Geophysics*, 79, 2, B109–B122.
- Boganik, G.N., Gurvich, I.I. (2006). Seysmorazvedka: uchebnyk dlya vuzov. Tver : AIS.
- Gluukhov, A.A., Zakharov, V.N., Ruban, A.D. (1994). Modeling of the wave field in the problems of mine seismic exploration using the finite difference method. *Mining messenger*. Moscow: Skochinsky Institute of mining, 16–18. [in Russian]
- Barthwal, H., van der Baan, M. (2019). Passive seismic tomography using recorded microseismicity: Application to mining-induced seismicity. *Geophysics*, 84, 1, B41–B57.
- Lu, J., Meng, X., Wang, Yu. (2016). Prediction of coal seam details and mining safety using multicomponent seismic data. A case history from China. *Geophysics*, 81, 5, B149–B165.
- Kenzhin, B.M., Smirnov, Y.M., Tsai, B.N., Mustafin, R.K., Sattarov, S.S. (2009). Conducting mine seismoacoustic experiments in the conditions of powerful layers of the Karaganda coal basin. *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy*, 5 (1), 276–284. [in Russian]
- Kulakov, E.V. (2012). Features of seismic waves excited in an array of salt rocks at the Starobinskoye field. *Litasfera*, 2 (37). [in Russian]
- Prigara, A.M. (2003). Forecast of the structure and properties of a mountain range based on seismic modeling. *Thesis ... Cand. Sci. (Tech.)*. Perm: Mining Institute, Ural branch, RAS. [in Russian]
- Savich, A.I., Koptev, V.I., Nikitin, V.N., Yashchenko, Z.G. (1969). Seismoakusticheskie metody izucheniya massivov skalnykh porod. Moskva: Nedra.
- Sadchikov, A.V., Ponomareva, M.V., Talerchik, M.P. (2016). Research of the mountain range of spent mines. *Writings of the University, Karaganda: KSTU*, 3, 48–50. [in Russian]
- Sanfirov, I.A., Babkin, A.I. (2003). Mining and geological applications of seismic surveys in the interior of the environment. *Mining information and analytical Bulletin*, 10. [in Russian]
- Greenhalgh, S.A., Masonz, I. M., Sinadinovski, C. (2016). In-mine seismic delineation of mineralization and rock structure. *Geophysics*, 65, 6, 1908–1919.
- Tirkel, M.G. (2005). A new version of tomography for seismic prediction of the structure of a mountain range. *Donetsk: UkrRIMGS of the NAS of Ukraine*, 78–83. [in Russian]
- Tsarev, R.I., Prigara, A.M., Zhukov, A.A. (2019). The possibility of seismic shear waves. *Materials of the EAGE conference "Engineering and ore Geophysics"*. Gelendzhik. [in Russian]

Надійшла до редакції 29.07.2020

A. Sadchikov, PhD (Tech.), Senior Lect.,  
E-mail: a.sadchikov@kstu.kz;  
N. Zhelaeva, master, Senior lecturer,  
E-mail: gnipnv@gmail.com;  
J. Tokusheva, master, Senior lecturer,  
E-mail: jtokusheva@mail.ru;  
M. Ponomareva, PhD (Tech.), Associate. prof.,  
E-mail: mv\_ponomareva18@mail.ru;  
Karaganda state technical University,  
56 N. Nazarbayev Ave., Karaganda, 100027, Kazakhstan

## APPLICATION OF SEISMOTOMOGRAPHY METHODS FOR SOLVING VARIOUS PROBLEMS IN THE MINING AND GEOLOGICAL DIRECTION

*The Karaganda coal basin is characterized by a complex structure. The presence of geological inconsistencies such as tectonic disturbances, washouts, variable reservoir hypsometry, etc. makes it difficult to conduct underground mining operations. Currently, in the world practice, mine seismic exploration is widely used for the purpose of studying the geological structure and solving various mining problems.*

*Safe and productive operation of treatment faces in underground coal mining requires a timely and reliable forecast of the mining and geological conditions of the structure and condition of the coal-bearing mass from the mine workings. The most accurate and reliable picture of the tectonic structure of the Carboniferous massif can be obtained using methods of mine seismic exploration to study the geological structure and conditions of the coal bed and host rocks.*

*The main goal of implementing modern methods of mine seismic exploration was to conduct mathematical modeling to assess the possibility of identifying tectonic disturbances with an offset amplitude of the order of magnitude and higher than the reservoir capacity using various methods of underground seismic exploration - the seismic transmission method (STM) and the reflected wave method (RWM).*

*For this purpose, physical models of sections of the Carboniferous massif were developed, including a geometric description of geological structures, the distribution of rock densities, velocities, wave propagation and their influence on compression, and the shift of the mountain range. One of the models corresponded to a section of the formation without geological disturbances, and the second one - to a section with tectonic disturbances with displacement amplitudes from 5 to 15 m.*

*The results obtained can be used in the development of modern effective methods for predicting the state of the mountain range in complex mining and geological conditions of both the Karaganda coal basin and other coal basins with a complex geological structure.*

*Initially, seismic surveys were performed using the method of reflected waves using the common depth point method. However, the problem of obtaining an objective image of the geological environment is still relevant, due to the peculiarities of elastic wave excitation in mine conditions (features of the generated wave field, patterns of its propagation, the direction of the source). The method of mine seismic survey based on channel and boundary waves registration was developed and applied. This method allows obtaining a detailed geological and geophysical model of the field site. Due to the processing of both types of waves, the resolution of the method is increased to obtain information about both the coal bed and the host rocks, and, in particular, the state of the roof of the formation.*

*The method of measurements in mine conditions is presented, the results of testing the method of performing field work in mine conditions are shown, and seismic characteristics with high contrast and clear traceability of reflecting boundaries are obtained.*

*Keywords: Karaganda coal basin, tectonic disturbances, mine seismic survey, source orientation, transverse waves, channel and boundary waves.*

А. Садчиков, канд. техн. наук, ст. викл.,  
E-mail: a.sadchikov@kstu.kz;  
Н. Желаяева, магістр, ст. викл.,  
E-mail: gnipnv@gmail.com;  
Ж. Токушева, магістр, ст. викл.,  
E-mail: jtokusheva@mail.ru;  
М. Пономарьова, канд. техн. наук, доц.,  
E-mail: mv\_ponomareva18@mail.ru;  
Карагандинський державний технічний університет,  
пр. Н. Назарбаєва, 56, м. Караганда, 100027, Казахстан

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СЕЙСМОТОМОГРАФІЇ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ РІЗНИХ ЗАВДАНЬ У ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНОМУ НАПРЯМІ

*Карагандинський вугільний басейн характеризується складною будовою. Наявність геологічних неузгоджень, таких як тектонічні порушення, розмиви, мінлива гіпсометрія пласта та інші, ускладнює проведення підземних гірничих робіт. Безпечна і продуктивна робота очисних вибоїв при підземному видобутку вугілля передбачає завчасний і надійний прогноз гірничо-геологічних умов будови і стану вуглепородного масиву у гірничих виробках. Найбільш точну і достовірну картину тектонічної будови вуглепородного масиву дозволяють отримати методи шахтної сейсморозвідки для вивчення геологічної будови і умов залягання вугільного пласта і вмісних порід.*

*Основним завданням упровадження сучасних методів шахтної сейсморозвідки було проведення математичного моделювання для оцінки можливості виділення тектонічної порушеності з амплітудою зміщення порядку і вище потужності пласта, з використанням різних методів підземної сейсморозвідки – методу сейсмічного просвічування і методу відбитих хвиль.*

*Для цього було розроблено фізичні моделі ділянок вуглепородного масиву, що включають у себе геометричний опис геологічних структур, розподіл щільності порід, швидкостей поширення хвиль та їхній вплив на стискання і зрушення гірського масиву. Одна з моделей відповідала ділянці пласта без геологічних порушень, а друга – ділянці з тектонічними порушеннями з амплітудами зміщення від 5 до 15 м.*

*Отримані результати можуть бути використані за розробки сучасних ефективних методик прогнозу стану гірського масиву в складних гірничо-геологічних умовах як Карагандинського вугільного басейну, так і інших вугільних басейнів, що мають складну геологічну будову.*

*Спочатку сейсморозвідувальні роботи виконувалися методом відбитих хвиль за методикою загальної глибинної точки. Однак, як і раніше, актуальною залишалась проблема отримання об'єктивного зображення геологічного середовища, пов'язана з особливостями збудження пружних хвиль у шахтних умовах (особливості генерованого хвильового поля, закономірності його поширення, спрямованість джерела). Розроблено і застосовано метод шахтної сейсморозвідки, оснований на ресстрації каналових і граничних хвиль, що дозволяє отримати детальну геолого-геофізичну модель ділянки родовища. За рахунок обробки обох типів хвиль досягається підвищення роздільної здатності методу, що дозволяє отримати інформацію як про вугільний пласт, так і про вмісні його породи, зокрема про стан покрівлі пласта.*

*У роботі наведено методику вимірювань в шахтних умовах, показано результати випробування методики при виконанні польових робіт в умовах шахт, отримано сейсмічні характеристики з високою контрастністю і чіткою простежуваністю відбивних меж.*

*Ключові слова: Карагандинський вугільний басейн, тектонічні порушення, шахтна сейсморозвідка, спрямованість джерела, поперечні хвилі, каналові та граничні хвилі.*