

МОНИТОРИНГОВЫЕ СИСТЕМЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

УДК 550.834

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

С. П. Оленюк, Е. Н. Хмырова, О. Г. Бесимбаева

Карагандинский технический университет,

E-mail: hmyrova@mail.ru, просп. Н. Назарбаева, 56, 100027, г. Караганда, Казахстан

Рассмотрены результаты внутрипластовых сейсмических исследований в период эксплуатации месторождения на шахтах “Казахстанская”, “Абайская”, “Им. Кузембаева” Карагандинского угольного бассейна с целью изучения и прогнозирования геологических нарушений угольного пласта. Сейсморазведочные работы проводились методами отраженных, проходящих волн, сейсмической локации, а также их сочетанием. Полученные практические результаты внутрипластовой сейсморазведки в сложных горно-геологических условиях показали высокую эффективность применения рассматриваемых методов, что позволило уточнить наличие и положение, а также простираемость ожидаемых нарушений, выявить отсутствие не прогнозируемых геологических нарушений, определить зоны изменения гипсометрии угольного пласта и другие аномалии.

Внутрипластовая сейсморазведка, метод отраженных волн, метод проходящих волн, метод сейсмической локации, угленородный массив, источники и приемники упругих волн, интерпретация геологоразведочной информации, планирование развития горных работ

DOI: 10.15372/FTPRPI20240622

EDN: JCLGDR

Подземная разработка угольных месторождений часто осложняется горно-геологическими и горнотехническими условиями, которые определяют способы вскрытия, отработки и другие параметры. С целью повышения надежности и безопасности горных работ проводятся наблюдения геомеханического состояния горного массива [1].

Внутрипластовые сейсмические исследования шахтных полей представляют собой геофизические разведочные работы в период эксплуатации месторождения. Они направлены на прогноз и изучение геологических нарушений угольного пласта и выполняются с использованием трех основных методов: отраженных волн (МОВ), сейсмического просвечивания (МСП) и сейсмической локации впереди забоя (МСЛ), а также комбинации первого с двумя последующими [2]. Сущность методов сейсморазведки заключается в возбуждении, регистрации и анализе упругих колебаний, распространяемых в пределах угольного пласта. При этом принимаются во внимание частотные и кинематические параметры волн различных типов, зависящих от геометрических, геологических и физических характеристик угольного пласта и вмещающих пород [3].

Планирование сейсморазведочных работ выполняется после принятия службой геопрогноза и геомеханики решения об их целесообразности исходя из текущих горно-геологических условий, необходимости и предпосылок для получения дополнительных данных, возможностей и ограничений каждого метода сейсморазведки, программ развития горных работ.

Практические результаты подземной пластовой сейсморазведки с учетом технологии, особенностей ее планирования и реализации в условиях Карагандинского угольного бассейна позволяют выделить круг задач, направленных на повышение безопасности и эффективности ведения горных работ, а также оценить благоприятные факторы использования описанных методов в аналогичных условиях [4 – 6].

ТЕХНОЛОГИЯ, ОСОБЕННОСТИ И ЗАДАЧИ ПОДЗЕМНОЙ ПЛАСТОВОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Внутрипластовая сейсморазведка относится к направлениям разведочной и инженерной геофизики с конкретными целями и задачами, определяемыми объектом исследований, а также выполнением работ в условиях действующего горного предприятия.

Планирование и подготовка подземных сейсморазведочных работ — это широкий комплекс административно-организационных, инженерно-технических и горно-технологических мероприятий с привлечением различных служб горного предприятия, включая технический и геолого-маркшейдерский отделы, службу вентиляции и дегазации, отделы буровзрывных и проходческих работ и др. Такие мероприятия необходимы для формирования целей и задач предстоящих изысканий с учетом потребности горного предприятия в актуальных данных о структуре и состоянии углепородного массива, анализа текущих горно-геологических условий, при выборе метода и параметров сейсморазведочных работ, разработки проекта и организации полевых работ.

Угольный пласт, имеющий контрастную по отношению к вмещающим породам плотность, представляет собой волновод, распространению упругих волн в котором не препятствуют его изгибы. Наряду с продольными и поперечными волнами в пласте возникают каналовые и поверхностные волны Лява и Рэлея, которые восприимчивы к нарушениям и изменениям мощности, что делает их достаточно информативными при внутрипластовой сейсморазведке [7, 8]. Возбуждение упругих колебаний может выполняться с использованием взрывных или ударных источников в зависимости от текущих горно-геологических условий, требований безопасности, условий вентиляции, состояния горных выработок, необходимой дальности исследований и других условий [9].

Метод отраженных волн (МОВ) — способ сейсмоакустического исследования углепородного массива, при котором анализируются характеристики и время возвращения волн, отраженных от границы геологических нарушений и аномалий. Суммирование отраженных волн по общей глубинной точке (ОГТ) вдоль сейсмического профиля позволяет проследить протяженную границу геологического нарушения вдоль выработки [10] (рис. 1а). Такой способ актуален, когда необходимо обнаружить или уточнить положение возможного геологического нарушения напротив пройденной выработки.

Метод проходящих волн (МПВ) основан на исследовании прохождения упругих волн сквозь частично или полностью оконтуренный горными выработками углепородный массив (рис. 1б), что позволяет с помощью данных о скорости и качестве таких волн судить об изменении мощности пласта, наличии разрывов, трещиноватости и о свойствах других структурных аномалий [11, 12].

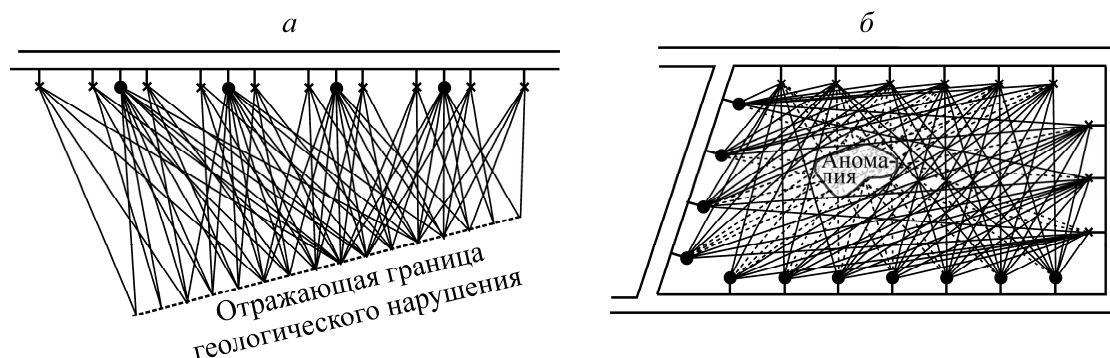


Рис. 1. Схемы расположения шпуров в массиве: *а* — метод МОБ; *б* — метод МПБ; ● — геофоны; ✕ — источники упругих колебаний

Метод сейсмической локации (МСЛ), или метод направленного приема, используется для поиска нарушений впереди и по бокам проходческого забоя. Он основан на модифицированном принципе МОБ, но обладает меньшей дальностью и точностью, а также предполагает циклические изыскания по мере подвигания забоя.

Схемы проведения полевых работ разрабатываются исходя из выбранного метода шахтной сейсморазведки и соответствующих концептуальных схем, сформированных с помощью априорных данных и плана горных работ [13]. Схема включает в себя порядок расположения шпуров под источники и приемники с учетом особенностей распространения сейсмических волн, геометрии исследуемого участка и специфики решаемых задач. На ней указывается положение шпуров под геофоны и источники упругих волн с нумерацией и относительной плановой привязкой. В соответствии со схемой и сопроводительной информацией выполняется бурение шпуров под источники и приемники упругих волн [14].

Источниками упругих волн в данных условиях могут быть малые заряды специализированного взрывчатого вещества (ВВ), разрешенного к применению в угольных шахтах, либо ударный источник: металлические молот и штанга, погруженная в шпур, из-за малой интенсивности которого предполагается применение режима накопления. В общем случае пластовая сейсморазведка МОБ выполняется поочередным возбуждением упругих волн в каждом шпуре-источнике. При этом пластовые волны отражаются от различных точек поверхности среза пласта геологическим нарушением. Однако, применяя в этом случае законы геометрической оптики, можно утверждать, что кратчайший путь пройдет “акустический луч”, отраженный от конкретного участка (точки) геологического нарушения между источником и геофоном с углом падения, равным углу отражения [15]. Такие участки называются общими глубинными точками (ОГТ), расположение которых определяется схемой размещения шпуров, что позволяет в процессе обработки данных выполнять наложение сигналов, прошедших через одну ОГТ от разных источников под различными углами.

Перекрытие ОГТ, кратность и охват исследуемого участка обеспечиваются шагом расстановки источника и приемника, их чередованием. Сопоставимость, возможность совмещения и накопления информации реализуется за счет синхронизации момента начала возбуждения волн очередным источником. При этом проводится поэтапная регистрация данных отраженных волн всеми геофонами, формируется многоканальная сейсмическая запись с привязкой к текущему источнику [16, 17].

Камеральные работы по обработке сведений шахтной пластовой сейсморазведки имеют свои особенности. В первую очередь это связано с информативными волнами, в качестве которых выступают каналовые волны, сдвигающие полосовые фильтры в высокочастотную область, что придает свою специфику процессам фильтрации и первичной обработки. Необходимо отметить их дисперсию и зависимость от структуры пласта, а также то обстоятельство, что профиль распространения волн рассматривается не вертикальным, а по направлению залегания пласта, что вносит коррективы в процесс анализа и интерпретацию результатов [18–21].

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВНУТРИПЛАСТОВОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Представленные результаты получены при проведении подземных внутрипластовых сейсмоакустических исследований на трех шахтах Карагандинского угольного бассейна в условиях пластов Д6 и К10. В процессе выполнения полевых работ использовались взрывные и ударные источники. Для регистрации упругих колебаний применялась шахтная цифровая сеймостанция Summit II Ex. Основная часть полученных данных обрабатывалась с помощью программного комплекса RadExPro.

Исследования на шахте “Казахстанская” проводились для выемочного блока лавы 334Д6-1-В с целью уточнения местоположения тектонического нарушения $H=6-10$ м (рис. 2). О наличии и параметрах этого нарушения было известно по данным бурения из восточного вентиляционного уклона Г-340. Однако при проходке вентиляционного штрека 334Д6-В в вероятном месте подсечения и в целом по выработке тектоническое нарушение не обнаружено.

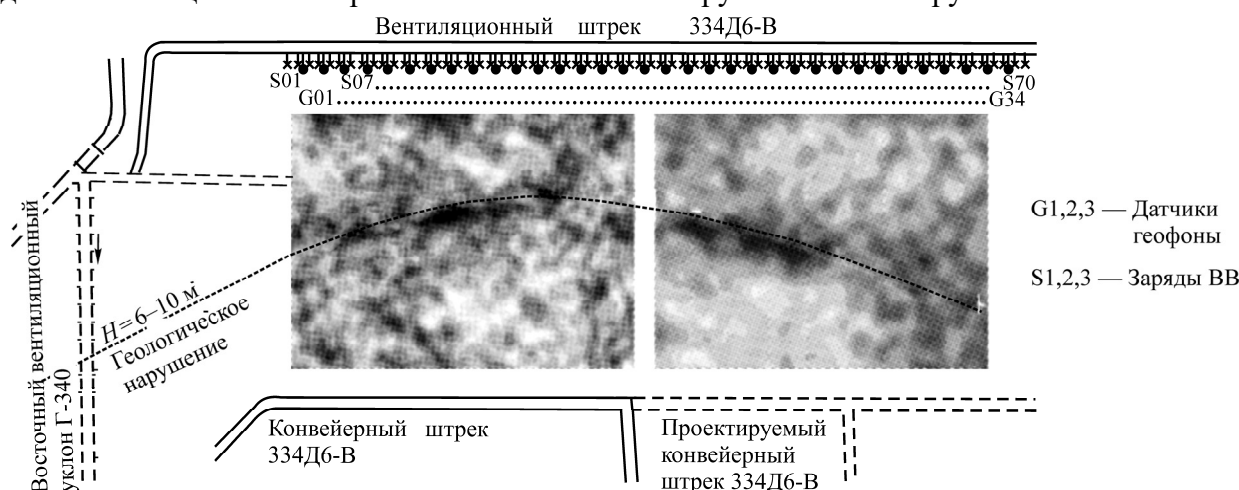


Рис. 2. Результаты сейсмических исследований по методу отраженных волн на шахте “Казахстанская”

Для уточнения геологической ситуации и выявления параметров нарушения на участке лавы 334 Д6-1-В проводились внутрипластовые сейсмические исследования МОВ с использованием взрывного источника возбуждения упругих волн. Составлена и реализована двухэтапная совмещенная схема, рассчитанная на два дня работ, в соответствии с применяемым оборудованием, горно-геологическими условиями, а также требуемой детальностью и размерами области наблюдений. Шпуры под геофоны 34 шт. (от G01 до G34) располагались через каждые 12 м вдоль стенки выработки, под источники — 70 шт. (от S01 до S70) через каждые 6 м.

При первичном анализе отмечался повышенный уровень шумов в исходных данных, получаемых с геофонов, которые располагались в непосредственной близости к взрывному источнику. Это фактор оказался несущественным за счет достаточного количества и приемлемого

качества данных, получаемых с других геофонов. Также значительную часть помех и неинформативных волн удалось отфильтровать и погасить, используя встроенные в программном обеспечении полосовые фильтры и кинематические поправки до суммирования по точкам ОГТ. Суммирование и получение сейсмопрофилей выполнялось индивидуально для первого и второго этапов работ.

По отношению к полезным данным общий уровень помех в конце второго этапа работ также оказался несколько завышен. Данное обстоятельство в комплексе с заниженной кратностью суммирования в краевых областях и возрастающим углом падения отражающей границы повлияло на потерю корреляции 1/6 части данных, что не помешало интерпретировать и построить линию простираения искомого геологического нарушения [10].

Как видно из рис. 2, распространение геологического нарушения меняет свое направление и движется в сторону проектируемого конвейерного штрека 334Д6-В. При ведении работ по проходке конвейерного штрека обнаружено геологическое нарушение с амплитудой 1-3 м и сужением пласта до 0.5 м в области, ранее определенной сейсмическими исследованиями. Таким образом, указанные данные сейсморазведки подтверждаются при ведении горных работ, а уменьшение амплитуды нарушения и наличие сужения пласта являются дополнительной причиной потери корреляции. В итоге сформировано уточненное представление о геологической обстановке на участке лавы 334Д6-1-В и об особенностях имеющегося геологического нарушения, что позволило оценить сложность геологических условий и возможные горно-технологические проблемы, которые могут влиять на принятие соответствующих решений.

Рассмотрим ситуацию, связанную с отнесением запасов участка угленосного массива с геологической нарушенностью к потерям ввиду нецелесообразности или опасности его разработки. Так, на шахте “Абайская” обсуждался вопрос подготовки к выемке участка пласта К10, в пределах которого ранее прогнозировалось наличие геологического нарушения “Взброс 10” с ожидаемой мощностью 5–10 м. Согласно прогнозному положению (рис. 3), разработка отсеченного им блока нецелесообразна, но такие выводы неоднозначны, так как они были сделаны в результате косвенной интерпретации геологоразведочной информации и данных по смежным горизонтам. В итоге с целью уточнения положения нарушения “Взброс 10” поставлена и выполнена задача по проведению пластовых сейсморазведочных исследований в конвейерном штреке 33К10-Ю.

Для выполнения сейсморазведочных работ МОВ с учетом текущих условий также составлялась совмещенная схема, состоящая из двух этапов. Однако из-за большего охвата и выраженности искомого нарушения расстояние между шпурами было увеличено с 6 до 10 м для 84 шпуров под источники и с 12 до 20 м для 42 шпуров под геофоны. Подобные изменения позволяют увеличить площадь и глубинность исследований при снижении детальности, что приемлемо по отношению к таким нарушениям.

Обработка и суммирование по точкам ОГТ выполнялись по аналогии с предыдущим примером. При этом на доверительном интервале в 150 м характерное геологическое нарушение не обнаружено, что с высокой степенью вероятности позволяет исключить наличие нарушения “Взброс 10” ближе 150 м от конвейерного штрека 33 К10-Ю и предположить его наличие на более далеком расстоянии.

Полученные результаты позволили выполнить корректировку плана горных работ с проведением дополнительных выработок и включением в отработку запасов, ранее отнесенных к потерям по причине предполагаемого крупного геологического нарушения. На основе данных исследований проведено планирование развития горных работ в части проведения вентиляционного и конвейерного штреков 341К10-Ю для отработки выемочного участка лавы 341К10-Ю.

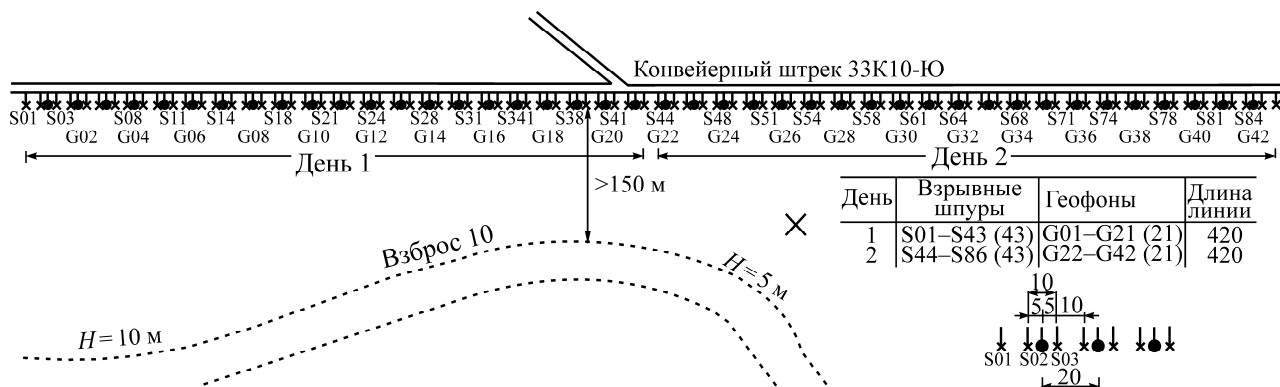


Рис. 3. Схема сейсмических исследований на шахте “Абайская”

Планирование развития горных работ в сложных геологических условиях Карагандинского угольного бассейна часто сопряжено с нетривиальными задачами. Например, при проходке на шахте “Им. Кузембаева” монтажной камеры 42К10-В было подсечено разрывное геологическое нарушение, которое по первичным прогнозам предполагалось вдоль выработки, но оказалось направленным диагонально в сторону выемочного блока будущей лавы 42К10-В (рис. 4).

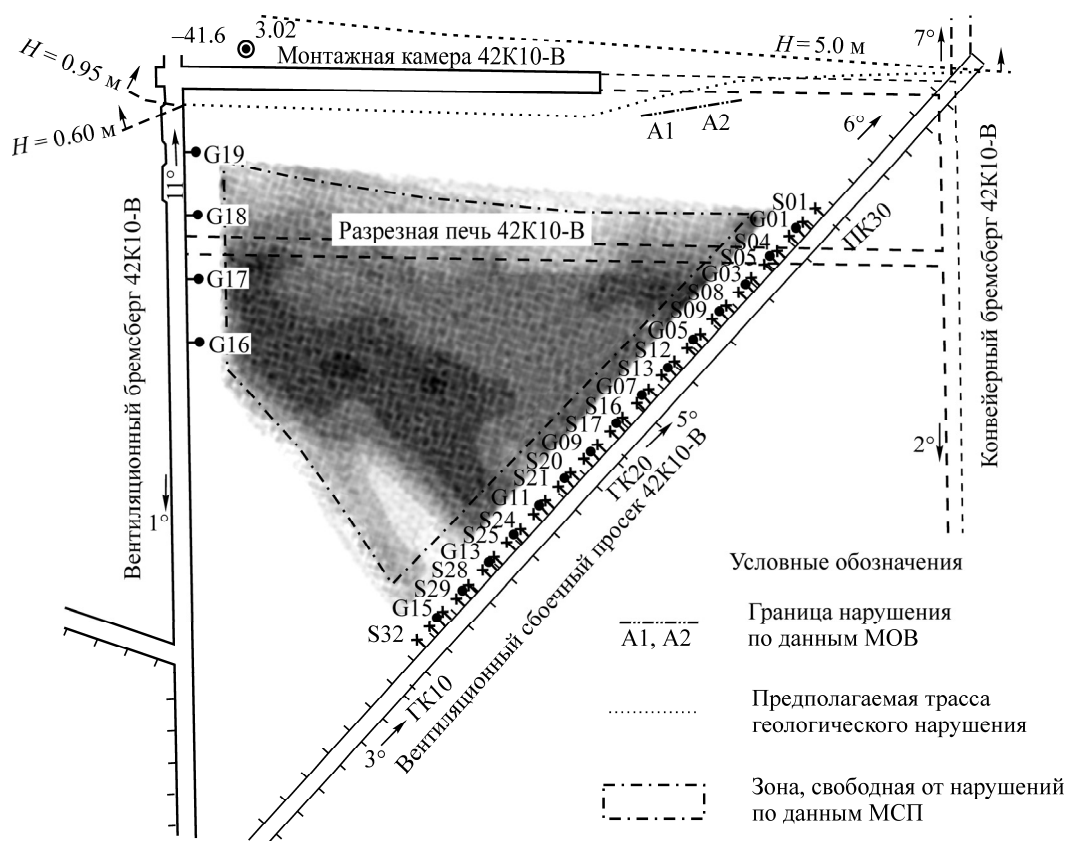


Рис. 4. Сейсмические исследования на шахте “Им. Кузембаева”

Направление и амплитуда данного нарушения не позволяли выполнить запуск лавы из текущего положения монтажной камеры, что потребовало принятия решения о переносе монтажной камеры и проведении разрезной печи на некотором удалении от обнаруженного геологического нарушения. Выбор места заложения новой выработки в условиях неопределенности дальнейшего

простираения данного нарушения является компромиссом между размером оставляемого блока, определяющим потери запасов, и риском повторного подсечения данного нарушения новой выработкой, что связано с неоправданными затратами на проходку и повышенной опасностью горных работ [3].

С целью прояснения геологической ситуации на выемочном блоке проектируемой добычной лавы 42К10-В и установления оптимального места заложения новой выработки проводились совмещенные МОВ и МСП сейсмические исследования участка блока, оконтуренного выработками: вентиляционным сбоечным просеком и вентиляционным бремсбергом 42К10-В. При этом для выполнения МОВ в вентиляционном сбоечном просеке использовался профиль размещения шпуров, аналогичный примененному на шахте “Казахстанская”, но с меньшим их количеством: источников 32 шпура (от S01 до S32), приемников 15 шпуров (от G01 до G15). Схема размещения шпуров для МПВ совмещала те же источники от S01 до S32 и четыре дополнительных геофона (G16–G19), расположенные в противоположной выработке — в вентиляционном бремсберге 42К10-В. В отличие от описанных ранее примеров источником возбуждения сейсмических волн являлся не взрыв, а механические удары темпером по металлической штанге, устанавливаемой в шпуры.

Применение МПВ в таком случае необходимо для оценки нарушенности отдельных участков угольного пласта по качеству пластовых волн, проходящих напрямую от источников, расположенных в вентиляционном сбоечном просеке до приемников в вентиляционном бремсберге. Данные, полученные МОВ с учетом сейсмического сноса, позволили выделить участки геологического нарушения, направленные вдоль монтажной камеры 42К10-В. Эти сведения подтверждены результатами анализа качества проходящих волн по МПВ, указывающими на отсутствие заметной нарушенности на расстоянии около 30 м от прежнего положения монтажной камеры, т. е. условия для проведения новой выработки можно оценить как благоприятные. Таким образом, проведенные исследования позволили выполнить корректировку положения геологического нарушения и определить положение разрезной печи 42К10-В.

ВЫВОДЫ

Методы внутрипластовой сейсморазведки позволяют решать широкий круг горнотехнических задач, связанных с планированием и ведением горных работ за счет анализа горно-геологической обстановки в массиве и изучения тектонических нарушений, не определенных в период геологической разведки месторождения.

Сейсмические исследования с использованием большого количества геофонов и источников упругих волн с охватом существенных объемов горного массива на шахтах “Казахстанская”, “Абайская” и “им. Кузембаева” позволили сформировать уточненное представление о геологической обстановке и особенностях геологических нарушений, выполнить корректировку плана горных работ с проведением дополнительных выработок и включением в разработку запасов, ранее отнесенных к потерям.

Результаты исследования позволили повысить эффективность планирования развития горных работ с учетом отработки забалансовых запасов, определить оптимальное место заложения горной выработки и повысить безопасность на предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тиркель М. Г., Компанец А. И., Сухинина Е. В. Особенности обработки данных наземной сейсморазведки тектонической нарушенности угольных пластов / Межвед. сб. науч. трудов: Геотехническая механика. Днепропетровск: НАНУ, 2002. — Вып. 35. — С. 96–101.

2. **Сейсморазведка.** Справочник геофизика Т. 1. / Под ред. В. П. Номоконова. — 2-е изд., перераб. — М.: Недра, 1990. — 336 с.
3. **Анциферов А. В.** Теория и практика шахтной сейсморазведки. — Донецк: Алан, 2003. — 312 с.
4. **Инструкция по безопасному** ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа. — Алматы, 1995. — 92 с.
5. **Правила охраны** сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ на угольных месторождениях. — М.: Недра, 1981. — 288 с.
6. **Имранов Р. А., Хмырова Е. Н., Бесимбаева О. Г., Оленюк С. П., Капасова А. З.** Анализ возможного возникновения куполов в лаве // Горные науки и технологии. — 2019. — № 4. — С. 57–64.
7. **Старобинец А. Е., Старобинец М. Е.** Цифровая обработка и интерпретация данных метода преломленных волн. — М.: Недра, 1983. — 207 с.
8. **Бондарев В. И.** Сейсморазведка // Современные проблемы науки и образования. — 2009. — 690 с.
9. **Телегин А. Н.** Методика сейсморазведочных работ МОВ и обработка материалов. — Л.: Недра, 1991 г. — 239 с.
10. **Турчков А. М.** Метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки в инженерной сейсморазведке // Технологии сейсморазведки. — 2013. — Т. 10. — №. 2. — С. 98–111.
11. **Урупов А. К., Левин А. Н.** Определение и интерпретация скоростей в методе отраженных волн. — М.: Недра, 1985. — 288 с.
12. **Епинатьева А. М., Голошубин Г. М., Литвин А. Л., Павленкин А. Д., Петрашень Г. И., Старобинец А. Е., Шнеерсон М. Б.** Метод преломленных волн. — М.: Недра, 1990. — 297 с.
13. **Шнеерсон М. Б., Жуков А. П., Белоусов А. В.** Технология и методика пространственной сейсморазведки. — М.: Спектр, 2009. — 112 с.
14. **Потапов О. А.** Организация и технические средства сейсморазведочных работ. — М.: Недра, 1989. — 260 с.
15. **Гурвич И. И., Боганик Г. Н.** Сейсмическая разведка. — М.: Недра, 1980. — 551 с.
16. **Голярчук Н. А., Губерман Э. И., Мерший В. В., Балакин Ф. Ю., Юфа Я. М.** Отдельные аспекты теории и практики применения метода MASW // Материалы конф. “Инженерная геофизика”. — Кисловодск, 2017.
17. **Пузырев Н. Н.** Методы и объекты сейсмических исследований. — Новосибирск: СО РАН, 1997. — 301 с.
18. **Телегин А. Н.** Сейсморазведка методом преломленных волн. — СПб.: СПбУ, 2004. — 187 с.
19. **Park C. B.** MASW analysis of bedrock velocities (Vs and Vp), SEG International Exposition and Annual Meeting, Society of Exploration Geophysicists, 2016. — P. 4966–4970.
20. **Loke M. H.** Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, Geotomo Software, Malaysia, 2012. — 148 p.
21. **Park C. B., Miller R. D., and Xia J.** Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 1999, Vol. 64, No. 3. — P. 80–808.

Поступила в редакцию 15/XII 2022

После доработки 05/XI 2024

Принята к публикации 08/XI 2024