

УДК 346:622:33

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЯМЫХ И КОСВЕННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ШАХТНЫХ ИЗОЛИРУЮЩИХ ПЕРЕМЫЧЕК

Подя В. И.¹, студент гр. ФПс-211, V курс,
Салтымаков Е. А.², ведущий инженер-гидрогеолог,
Проценко Г. В.², инженер-чертежник
Научный руководитель: Сирота Д.Ю.¹, к.т.н., доцент
¹Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
²Закрытое акционерное общество «Углеметан Сервис»
г. Кемерово

Изолирующие перемычки являются одним из ключевых элементов системы промышленной безопасности подземных горных работ. Потеря герметичности и разрушение перемычки может привести к аварийным последствиям: прорыву продуктов горения в действующие выработки, взрыву метана и/или угольной пыли, затоплению участка.

Современная практика подземной разработки месторождений использует широкий спектр изолирующих сооружений. По назначению перемычки подразделяются на вентиляционные (для регулирования распределения воздушных потоков), противопожарные (для изоляции аварийных участков), водоупорные (для защиты от прорывов воды и пульпы), фильтрующие (для дренажа при закладке выработанного пространства) и взрывоустойчивые (для локализации последствий взрывов газа и пыли) [1].

По сроку службы выделяют временные сооружения, возводимые на период ликвидации аварий, и постоянные [1], рассчитанные на длительную эксплуатацию. Статистика аварийности для постоянных перемычек показывает, что значительная часть инцидентов связана не с внезапным динамическим воздействием, а с постоянным накоплением скрытых дефектов в теле перемычек в процессе длительной эксплуатации. При этом действующая в России система контроля, регламентируемая Федеральными нормами и правилами ориентирована преимущественно на визуальные осмотры и замеры утечек воздуха, которые не позволяют выявить внутренние повреждения на ранних стадиях.

В странах с развитой горнодобывающей промышленностью (США, Австралия, Германия) требования к контролю состояния перемычек значительно жестче. Так в США Федеральный кодекс правил, предписывает персональную ответственность аттестованного лица за строительство, контроль состояния и ремонт перемычек, обязательное уведомление инспектора о начале и завер-

шении работ, а также установку пробоотборочных трубок и дренажных систем[2].

Однако и зарубежные подходы в части оценки фактического состояния материала перемычек имеют ограничения. Вопросы диагностики внутренней структуры, раннего обнаружения скрытых дефектов, развивающихся под воздействием горного давления и агрессивной шахтной среды, требуют специализированных прямых и косвенных методов диагностики.

Основная проблема обеспечения безопасности при эксплуатации шахтных перемычек заключается в противоречии между высокой ответственностью этих сооружений и недостаточной информативностью методов контроля. Визуальный осмотр фиксирует лишь вышедшие на поверхность дефекты, когда ресурс конструкции уже значительно снижен. Замеры утечек воздуха дают интегральную оценку герметичности, но не позволяют локализовать скрытые каналы фильтрации и оценить прочностные характеристики материала.

Рассмотрены три группы методов контроля:

1.Традиционные методы: визуальный осмотр, замеры расхода воздуха, контроль температуры и состава воздуха.

2.Геофизические методы: неразрушающего контроля георадиолокационное и акустическое зондирование.

3.Прямые методы: бурение контрольных шпуров, видеоэндоскопическое обследование шпуров и полостей, отбор керна с последующими лабораторными испытаниями.

Для оценки эффективности методов использованы результаты экспериментальных работ, опубликованные в научной литературе, а также данные о практическом применении соответствующих методов на горных и строительных объектах.

Анализ литературных источников и результатов обследований позволяет выделить основные виды скрытых дефектов, создающих угрозу безопасности[3-6]:

1.Внутреннее трещинообразование. Под воздействием неравномерных нагрузок со стороны вмещающего массива в бетоне возникают зоны напряжений, приводящие к образованию микротрещин и их развитию.

2.Зоны разуплотнения и каверны. Нарушение технологии бетонирования, выщелачивание цементного камня, коррозионные процессы приводят к образованию локальных зон пониженной плотности, которые могут стать очагами разрушения при динамических нагрузках.

3.Обводнение материала. Фильтрация агрессивных шахтных вод через тело перемычки вызывает выщелачивание цементного камня растворение и вынос свободной извести приводит к увеличению пористости и снижению прочности бетона.

4. Нарушение контакта с породами кровли и почвы. Образование зазоров между перемычкой и вмещающим массивом создает каналы для неконтролируемых утечек воздуха и миграции газов, что особенно опасно в условиях выделения метана.

Развитие перечисленных дефектов может привести к: потере взрывоустойчивости перемычки и ее разрушению при взрыве метана и/или угольной пыли, прорыву продуктов горения при подземном пожаре в действующие горные выработки, нарушению режима проветривания и накоплению взрывоопасных концентраций газов.

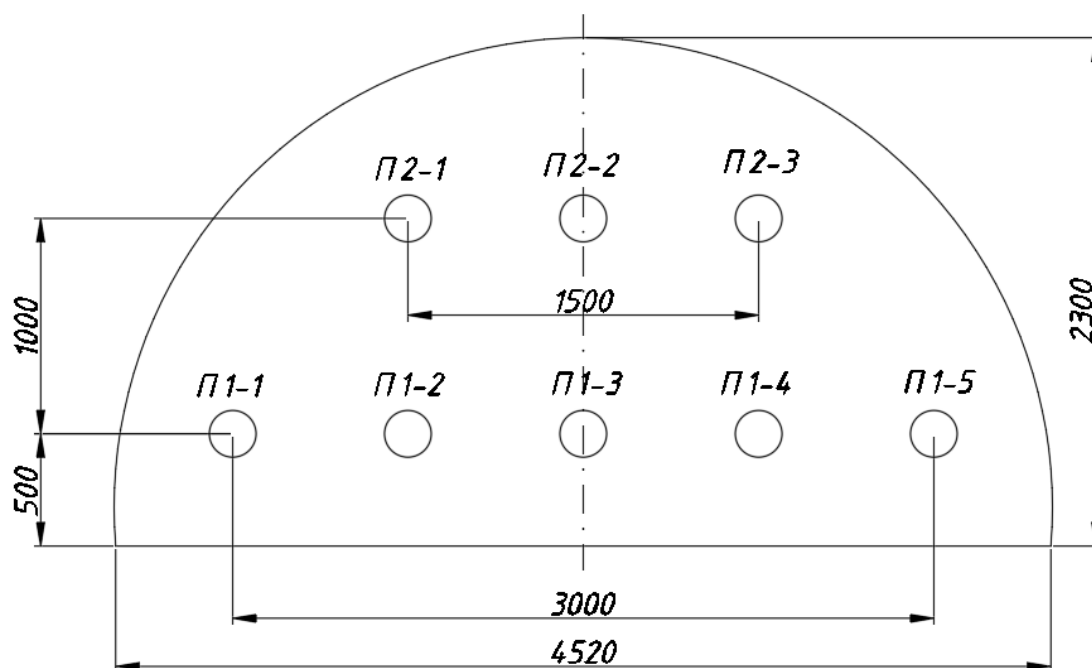
Исходя из проанализированной информации была составлена сравнительная таблица традиционных и геофизических методов по ряду критериев.

Таблица 1. Сравнительная таблица эффективности методов контроля изолирующих перемычек.

Критерий	Визуальный осмотр	Замеры утечек воздуха	Георадар	Акустика
Выявление поверхностных дефектов	+	-	+	+
Выявление внутренних дефектов	-	-	+	+
Локализация дефектов	-	-	+	+
Оценка влажности	-	-	+	-
Оперативность	высокая	средняя	средняя	средняя
Стоимость оборудования	низкая	низкая	средняя	средняя
Трудоемкость	низкая	низкая	средняя	средняя

В качестве объекта рассматриваются бетонные и железобетонные изолирующие перемычки, возводимые в горных выработках разного сечения. Условия эксплуатации характеризуются воздействием статического и динамического горного давления, агрессивных шахтных вод и колебаний и влажности.

Для неразрушающего контроля использован портативный регистратор акустических сигналов, успешно применяемый в условиях горных предприятий для выявления скрытых зон трещиноватости и ослабленных межслоевых контактов в подземных выработках [7,8]. Измерения выполнялись по профильной сетке, охватывающей как центральную часть перемычки, так и приконтурные зоны контакта с вмещающими породами (рисунок 1).



П1-1 – П2-3 – Точки измерений

Рисунок 1 – Схема расположения точек измерения и профилей исследований перемычки

Принцип работы сейсмоакустического прибора основан на методе акустического зондирования. С помощью ударного инструмента в теле перемычки создавались упругие колебания. Специальный датчик-геофон, установленный на поверхности конструкции с обеспечением акустического контакта, регистрировал отраженные сигналы.

Для оценки состояния перемычек анализировались изменения относительных напряжений и распределения ослабленных межслоевых контактов и их интенсивность.

По периметру перемычки наблюдается неравномерный характер распределения значений коэффициента относительных напряжений, с наличием участков снижения и возрастания его значений. Выделяются участки снижения напряжений вблизи бортов, которые предположительно могут являться трещиноватыми зонами и повышения напряжений по центру перемычки – более устойчивые зоны. По результатам интерпретации данных акустического зондирования в перемычке выделено две симметричные зоны повышенной трещиноватости (рисунок 2).

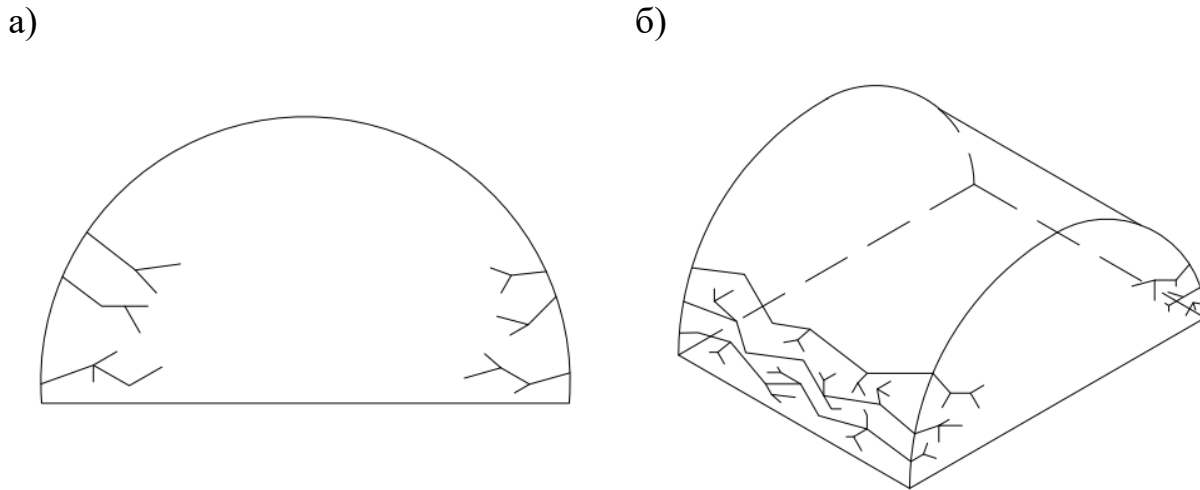


Рисунок 2 – Схема расположения зон повышенной трещиноватости в перемычке: вид спереди (а) и аксонометрическая проекция (б)

Выявленные аномалии относятся к категории скрытых дефектов: при предшествующем визуальном осмотре они не фиксировались, что подтверждает ограниченность традиционных методов

Полученные результаты убедительно демонстрируют эффективность сейсмоакустического прибора как инструмента экспресс-диагностики, позволяющего локализовать потенциально опасные зоны в изолирующих конструкциях. Однако важно подчеркнуть, что сейсмоакустическое прозвучивание, как и любой геофизический метод является косвенным способом диагностики. Интерпретация аномалий базируется на качественных и количественных признаках волнового поля, но не дает прямого подтверждения характера нарушений

Для перехода от вероятностной диагностики необходимо верификация результатов прямыми методами:

1. Бурение контрольных шпуров в точках локализованных аномалий;
2. Видеоэндоскопическое обследование пробуренных шпуров для подтверждения характера дефектов;
3. Отбор керна с последующими лабораторными испытаниями.

Дополнительным инструментом верификации могло бы стать применение георадиолокации, в качестве метода чувствительного к иному физическому параметру – диэлектрической проницаемости. Комплексирование методов позволит более уверенно локализовать и разделять типы дефектов, повышая достоверность диагностики [9,10].

Таким образом, в процессе длительной эксплуатации шахтные изолирующие перемычки подвергаются скрытой деградации, включающей образование внутренних трещин, зон разуплотнения, нарушение контакта с породами и обводнение. Эти дефекты снижают несущую способность и герметичность, не выявляясь традиционными методами контроля.

Геофизические методы неразрушающего контроля: георадиолокация и акустическое зондирование позволяют получать детальную информацию о внутреннем строении перемычек, локализовать скрытые дефекты и оценивать прочностные характеристики материала. Целесообразно дополнить действующую систему контроля состояния перемычек геофизическими обследованиями, особенно для конструкций с длительным сроком службы. Это повысит безопасность ведения горных работ и позволит своевременно планировать ремонтно-восстановительные мероприятия.

Однако, в виду вероятностной диагностики геофизических методов их необходимо подтверждать прямыми методами. Такой подход позволит точно локализовать зоны нарушений и точно на них воздействовать.

Список литературы:

1. Рудничная атмосфера: справочник / К. З. Ушаков, И. В. Сергеев, В. А. Бойко [и др.]; под ред. К. З. Ушакова. Москва: Недра, 1988. 433 с.
2. Mine Safety and Health Administration (MSHA), Department of Labor. 30 CFR Part 75 — Sealing of Abandoned Areas; Final Rule. Federal Register, Vol. 73, No. 76, April 18, 2008, pp. 21182-21209
3. Кирьян А. П., Пефтибай Г. И., Галухин Н. А. Напряженно-деформированное состояние армированной фиброволокном взрывоустойчивой перемычки в угольной шахте // Проблемы управления рисками в технике. 2025. № 1. С. 8-20.
4. Физическое моделирование воздействия горного давления на взрывоустойчивую перемычку / Г.И. Пефтибай [и др.] // Проблемы горного давления. 2017. № 32 (1). С. 20–31.
5. Агеев В.Г., Пефтибай Г.И., Марийчук И.Ф. Напряженное состояние шахтной взрывоустойчивой перемычки // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2018. № 4 (55). С. 7–14.
6. Махмудов С. М., Отажонов М. Н. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций заглубленных зданий с учетом их взаимодействия с грунтовым массивом // Universum: технические науки. 2025. №6 (135).
7. Клишин В.И. Геомеханическая оценка метода направленного гидро-разрыва пород основной кровли на шахте «Есаульская» сейсмоакустическим экспресс-анализом опасности / В.И. Клишин, Г.Ю. Опрук, А.О. Вессель // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. - № 2. – С. 27-33.
8. Шадрин А.В. Перспективы применения акустических методов при прогнозе и предотвращении газодинамических явлений и крупноплощадных обрушений кровли в угольных шахтах / А.В. Шадрин, А.С. Телегуз // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2017. - № 3. – С. 10-14.

9. Данильев С. М., Данильева Н. А., Исакова Е. П., Ашкар Г. Х. Исследование трещиноватости на месторождении облицовачного камня с применением метода георадиолокации // Известия ТПУ. 2020. №9.

10. Федорова Л. Л., Куляндин Г. А. Методика георадиолокационной оценки влажности дисперсных горных пород // Природные ресурсы Арктики и Субарктики . 2017. №4 (88).