**УДК 622.279.5:550.837**

Семенцова Дарья Владимировна, Инженер-геофизик
Варфоломеев Евгений Леонидович, Инженер-гидрогеолог
Проценко Галина Владимировна, Инженер-гидротехник
(ЗАО «Углеметан Сервис», г. Кемерово)
Daria V. Sementsova, Engineer-Geophysicist
Evgeniy L. Varfolomeev, Engineer-Hydrogeologist
Galina V. Protsenko, Engineer-Hydraulic
(CJSC «Uglemetan Service», Kemerovo)

# ОТСЛЕЖИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИНЫ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН ПО ДАННЫМ ЭХОЛОКАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

# TRACKING THE EFFECTIVE LENGTH OF DEGASSING WELLS BASED ON ECHO-SOUNDING DATA

**Аннотация.** Представлены результаты экспериментальной апробации метода акустической эхолокации для отслеживания пространственного состояния и эксплуатационной пригодности пластовых дегазационных скважин в условиях метанообильной шахты Кузбасса. Исследования выполнены с использованием взрывозащищенной аппаратуры, регистрирующей время прихода акустического импульса в стволе скважины с динамической корректировкой скорости звука по концентрации метана. Предложен безразмерный диагностический критерий – коэффициент относительного сохранения эффективной длины, позволяющий осуществлять выявление деформационного износа систем пластовой дегазации на ранних сроках.

**Abstract.** The results of experimental testing of the acoustic echolocation method for monitoring the spatial condition and operational suitability of formation degasification wells in a methane-rich mine in the Kuzbass region are presented. The studies were carried out using explosion-proof equipment that records the arrival time of an acoustic pulse in the wellbore, with dynamic adjustment of the sound speed based on methane concentration. A dimensionless diagnostic criterion is proposed — the coefficient of relative preservation of the effective length, which makes it possible to detect deformation wear of formation degasification systems at an early stage.

**Ключевые слова:** метановыделение, дегазация, угольный пласт, эхолокация, акустический метод, мониторинг скважин, эффективная длина скважины

**Key words:** methane emission, degassing, coal seam, echolocation, acoustic method, well monitoring, effective well length.

Высокая метанообильность очистных выработок является основной проблемой на современных шахтах Кузбасса. В связи с этим дегазация разрабатываемых пластов и выработанных пространств выступает в качестве основного технологического мероприятия, снижающего риски загазирований и обеспечивающего безопасное ведение горных работ [1].

Параметры современных дегазационных систем закладываются на стадии проектирования выемочных участков. Однако эффективность извлечения метана в значительной степени определяется не только проектным расположением скважин, но и их фактической эксплуатационной устойчивостью во времени. В процессе подвигания очистного забоя углепородный массив подвергается интенсивному геомеханическому воздействию, вследствие чего возникает перераспределение напряжений в зоне опорного давления, что приводит к деформации окружающих пород, сдвижению по контактам слоев, а также разрушению и закупориванию стволов дегазационных скважин [2-5].

Существует множество работ, посвященных оценке эффективности дегазации, но они, в своем большинстве, затрагивают такие показатели, как расход воздуха, давление, концентрация газов [6]. Геомеханические параметры учитываются редко, а также только теоретически, без каких-либо исследований, подтверждённых инструментально [7-10].

Поэтому принято решение о проведении исследования методом эхолокации на угольной шахте Кузбасса на 17 дегазационных скважинах, пробуренных из выработки по угольному пласту.

В качестве регистрирующей аппаратуры применен комплекс во взрывозащищенном исполнении, предназначенный для применения в условиях шахт, опасных по газу и пыли. Комплект аппаратуры представлен на рис. 1, а. На рис. 1, б изображен принцип работы аппаратуры.

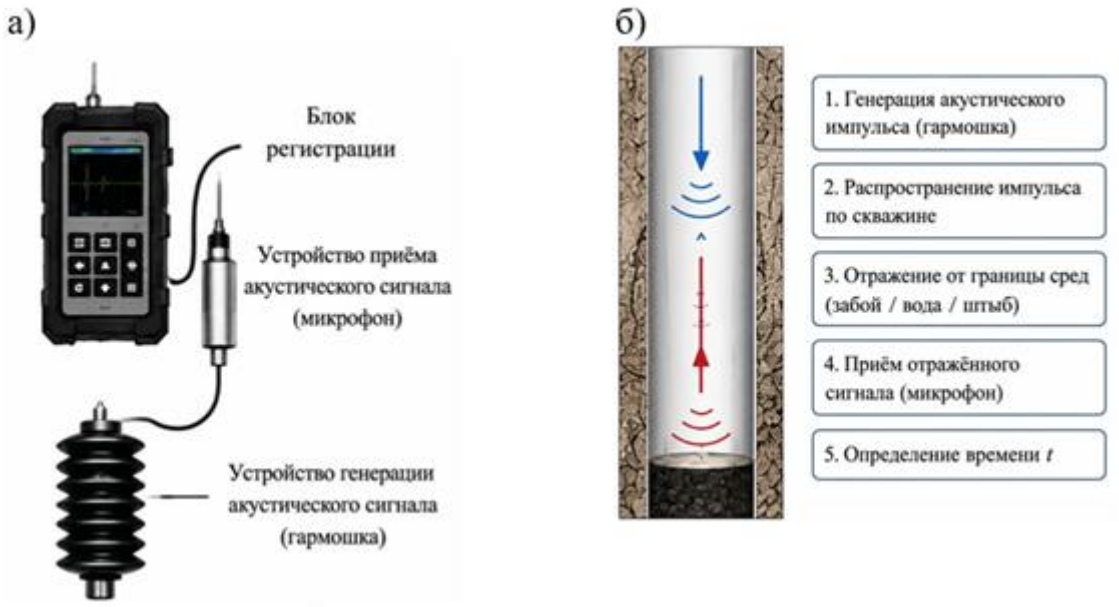


Рис. 1 – Эхолокационный метод:
а – комплект аппаратуры; б – принцип работы

Для того, чтобы при помощи аппаратуры определить длину дегазационной скважины *L (м)*, используется время прихода отраженного сигнала *t (с)* и скорость распространения акустической волны *V (м/с)*:

$$L = \frac{Vt}{2}, \text{м.}$$

Для более точных результатов используется корректировка скорости звука под воздушный состав скважины (таблица 1).

Таблица 1 – Значение скорости звука при определенной концентрации метана (при температуре 20 °С)

| Концентрация метана, % | 0 | 10 | 20 | 30 | 35 |
|---|---|---|---|---|---|
| Скорость звука *V*, м/с | 320 | 327 | 336 | 339 | 342 |

Исследования дегазационных скважин выполнены в два этапа, включающие в себя полевые (шахтовые) работы и камеральную обработку полученных данных. При камеральной обработке удалены шумы и помехи для повышения достоверности результатов и произведен расчет по формуле.

Мониторинг дегазационных скважин проводился один раз в пять суток. Динамика и результаты замеров по этапам приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Динамика изменения эффективной длины дегазационных скважин

| Номер скважины | Проектная длина скв, м | Действительная длина скв, м (1 этап) | Действительная длина скв, м (2 этап) | Действительная длина скв, м (3 этап) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 160,5 | 23,1 | 23,2 | 38,3 |
| 2 | 160,5 | 99,4 | 97,8 | 35,1 |
| 3 | 160,5 | 97,6 | 112,4 | 43,7 |
| 4 | 159 | 50,8 | 52,9 | 53,1 |
| 5 | 160,5 | 38,1 | 37,0 | 28,7 |
| 6 | 159 | 26,3 | 17,4 | 22,8 |
| 7 | 157,5 | 29,1 | 10,6 | 29,8 |
| 8 | 156 | 39,4 | 72,8 | 52,8 |
| 9 | 159 | 45,6 | 35,9 | 33,7 |
| 10 | 160,5 | 42,8 | 50,8 | 41,3 |
| 11 | 163,5 | 11,3 | 22,4 | 45,2 |
| 12 | 159 | 34,6 | 57,6 | 25,0 |
| 13 | 163,5 | 25,1 | 88,1 | 34,2 |
| 14 | 160,5 | 41,2 | 40,6 | 57,8 |
| 15 | 162 | 39,2 | 31,8 | 25,4 |
| 16 | 160,5 | 28,6 | 34,9 | 29,9 |
| 17 | 160,5 | 8,3 | 9,0 | 10,6 |
| **Среднее** | **160,1** | **40,0** | **46,8** | **35,7** |

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменение эффективной длины неравномерное и не имеет закономерности. Но для того, чтобы отслеживать их эффективность, введен коэффициент сохранения длины $k_{эф}$ *(%).*

$$k_{эф} = \frac{L_{эф}}{L_{пр}},$$

где $L_{эф}$ – длина скважины на момент измерения эхолокационным методом, м;

$L_{пр}$ – проектная длина скважины, м.

Значение коэффициента сохранения длины на финальной стадии для каждой исследуемой скважины приведен на рис. 2.

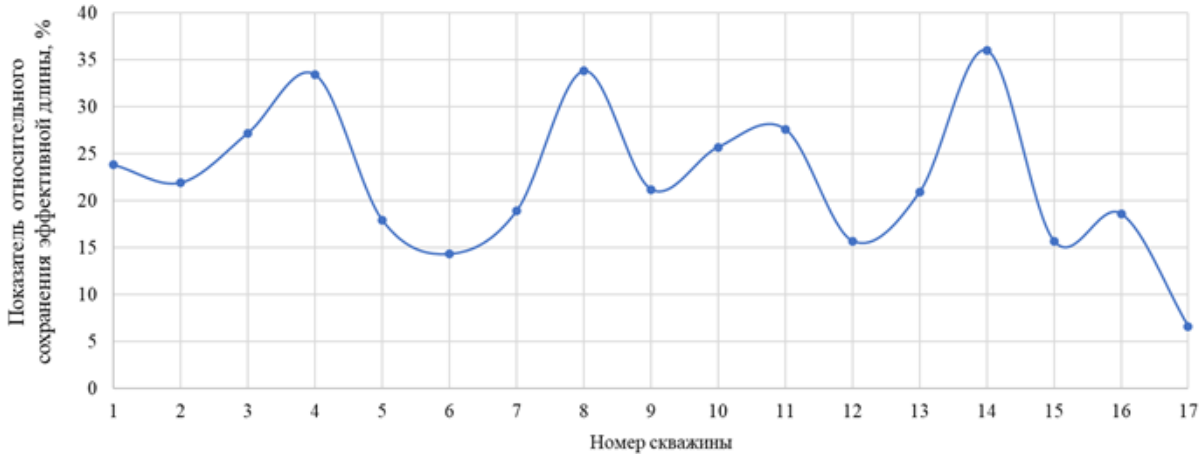


Рис. 2 – Значение коэффициента сохранения длины дегазационной скважины на заключительном этапе мониторинга, %

Сопоставление результатов первого и второго этапов показало увеличение средней эффективной длины на 6,7 м. Наиболее заметно увеличение проявилось на скважинах №3, №8 и №13. Это можно объяснить с позиции геомеханики тем, что по истечению времени, образованные пробки бурового штыба под воздействием газодинамического давления или сдвига пород частично прорывались, тем самым увеличивая время прохождения сигнала.

Сильное увеличение длины скважины №2 и скважины №3 на третьем этапе объяснятся резким обрушением угольного массива.

Скважины №1, №16 и №17 на протяжении всего времени характеризуются крайне низкими значениями эффективной длины, что может свидетельствовать о загрязнениях породой, сформированных практически сразу после бурения при воздействии горного давления.

Проведенные исследования методом эхолокации демонстрируют динамичность и непредсказуемость поведения длины дегазационных скважин, которая напрямую отражает интенсивность протекания геомеханических процессов и может служить в качестве контроля состояния дегазации массива.

**Список литературы**

1. Соболев В.В., Коликов К.С., Фомин А.И. и др. Совершенствование дегазации угольных шахт // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2025. – № 2. – С. 86-93.

2. Коликов К.С., Маневич А.И., Ледяев Н.В., Комиссаров И.А. Повышение эффективности дегазации угольного пласта при его подготовке к безопасной отработке на основе использования эффекта сорбционных деформаций // Горная промышленность, 2025. – № 2. С. 92-96.

3. Кузина Е.С. Economic mechanisms for the implementation of early degassing preparation of coal deposits in Russia to improve labor safety // Уголь, 2024. – № 1. – С. 55-60.

4. Одинцев В.Н., Милетенко Н.А., Федоров Е.В. Моделирование геомеханических условий скважинной добычи метана из угольных пластов // Известия ТулГУ. Науки о Земле, 2024. – № 1. – С. 510-527.

5. Десяткин А.С., Агеев П.Г. Применение технологии плазменно-импульсного воздействия для увеличения проницаемости коксующихся углей повышенной твердости и низкой водонасыщенности для целей заблаговременной дегазации // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2021. – № 3(123). – С. 90-94.

6. Кузина Е.С., Ильин М.В., Мирзабалаев Р.В. Концепция осуществления заблаговременной дегазации угольных пластов для развития угольной промышленности и экономики региона // Микроэкономика, 2025. – № 1. – С. 96-102.

7. Застрелов Д.Н., Макеев М.П., Колесниченко С.Е., Колмакова А.А. Мониторинг дегазационных скважин методом эхолокации // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2019. – №5. – С. 353-356.

8. Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Макеев М.П., Салтымаков Е.А., Колесниченко С.Е. Мониторинг изменения технического состояния пластовых скважин в процессе угледобычи // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк, 2020. – №6. – С. 363-366.

9. Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Салтымаков Е.А., Колесниченко С.Е. Оценка устойчивости дегазационных скважин в шахтных наблюдениях // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк, 2021. – №7. – С. 315-318.

10. Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Макеев М.П., Колесничеко С.Е., Герасимов А.В., Уткаев Е.А., Салтымаков Е.А. Исследование устойчивости пластовых дегазационных скважин на основе численного моделирования // Углехимия и экология Кузбасса: XI Международный Российско-Казахстанский Симпозиум: сб. тез. докл. 4-6 июля 2022 г. Кемерово / ФИЦ УУХ СО РАН. Кемерово, 2022. – №7. – С. 87.