

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МИГРАЦИИ МЕТАНА В ПРЕДЕЛАХ НАРУШЕННОГО УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА

Т.А. Василенко, Н.И. Волошина, А.А. Подрухин, Институт физики горных процессов, Украина

Разработан аналитический метод расчета, который позволяет определить с достаточной точностью количество метана, мигрирующего к земной поверхности из выработанного пространства, а также характерное время его эмиссии для условий шахт, закрытых путем «мокрой» консервации. Натурные измерения количества метана в почве в пределах распространения геодинамических зон на территории горных отводов закрытых шахт подтверждают наличие выделения метана и результаты выполненных аналитических расчетов.

В настоящее время на территории Донецкой и Луганской областей насчитывается более 50 закрытых угольных шахт. Закрытие данных шахт выполнялось, в основном, путем «мокрой» консервации, т.е. выработанное пространство постепенно заполняется водой из подработанных водоносных пластов. При этом газ метан, находящийся в выработанном пространстве, вытесняется водой к земной поверхности по различным путям. Газовыделение из закрытых путем «мокрой консервации» шахт обнаруживается в течение от одного года до нескольких десятилетий после прекращения принудительного проветривания и засыпки стволов и продолжается вплоть до полного затопления выработанного пространства.

На данный момент в Украине прогнозирование миграции метана из выработанного пространства выполняется в соответствии с «Инструкцией по защите зданий и сооружений от проникновения метана» [1]. Но существующая методика контроля миграции шахтного газа на поверхность не учитывает наличия в горном массиве геодинамических зон, которые могут расцениваться как дополнительные естественные пути миграции метана на дневную поверхность, а также рассчитать объем свободного газа метана, находящийся в выработанном пространстве закрытой шахты, и спрогнозировать период его эмиссии и полного выделения.

Таким образом, расчет количества метана и времени его выделения на земную поверхность с учетом наличия в горном массиве геодинамических зон является актуальной научно-технической задачей.

Целью данной работы является обоснование наличия дополнительных путей миграции метана для расчета количества и времени выхода метана из выработанного пространства на поверхность.

Для предотвращения проникновения метана в подвалы зданий необходимо проводить дегазацию горного отвода. Чтобы дегазация была наиболее эффективной, нужно учитывать все пути выхода метана из выработанного пространства на земную поверхность.

Согласно действующей инструкции, основными путями миграции метана к земной поверхности являются:

- пласты трещиноватых водоносных или газоводоносных пород после их осушения горными работами (песчаники, известняки) при моноклиналином залегании на расстоянии от 35 до 150 мощностей отработываемого пласта;
- трещиноватые породы в замковых частях антиклиналей и куполов;
- разрывные геологические нарушения, имеющие выход на дневную поверхность или под наносы;
- ликвидированные горные выработки, имевшие выход на дневную поверхность (стволы, шурфы);
- незатампонированные или некачественно затампонированные геологоразведочные скважины, пробуренные с поверхности.

В результате исследований верхнего слоя Земли геологами и геофизиками известно, что вся приповерхностная часть земной коры разбита на блоки различной тектонической активности. Границами таких блоков являются геодинамические зоны (ГДЗ). Они представляют

собой структуры, по которым происходили или происходят в настоящее время подвижки блоков горного массива. ГДЗ имеют в различные размеры – от глобальных, протяженностью в десятки тысяч километров, до локальных, протяженностью в несколько сотен метров. Являясь отражением тектонических разрывных нарушений, ГДЗ проявляются на земной поверхности чаще всего в виде линейно вытянутых отрицательных форм рельефа. Такие структуры называют линеаменами. Горным породам, расположенным в пределах ГДЗ, свойственны напряженно-деформированное состояние и аномально повышенная трещиноватость по отношению к породам блоков. В результате проведения горных работ данная трещиноватость способствует миграции газов различного состава (в т.ч. и метана) на дневную поверхность. Данное предположение подтверждается выполненными аналитическими исследованиями по данным метановыделения в скважины, пробуренные МакНИИ в пределах горного отвода закрытой шахты «Кочегарка». Максимальное выделение метана наблюдалось только в тех скважинах, которые находились в пределах выделенных ГДЗ [2]. Таким образом, это создает предпосылки для рассмотрения ГДЗ в качестве дополнительных естественных путей эмиссии метана из выработанного пространства закрытых шахт к дневной поверхности.

Если представить процесс миграции метана от нижнего отработанного горизонта до поверхности по разрывным нарушениям и геодинамическим зонам в разрезе, то получается следующая картина: в результате горных работ в зоне разрывных нарушений происходит раскрытие трещин и образование новых, которые, в свою очередь, способствуют активизации флюидообменного процесса и, соответственно, миграции метана к дневной поверхности.

Свободный метан, имеющий массу меньшую, чем воздух, полностью заполняет выработанное пространство, и затем под действием избыточного давления, возникающего в результате притока воды, начинает перемещаться в пределах разрыва вверх по направлению к поверхности. Это происходит повсеместно на всех отработанных горизонтах, пересекаемых данным разрывным нарушением. Затем, достигнув зоны затухания сместителя разрывного нарушения, метан продолжает перемещаться в пределах геодинамической зоны до самой поверхности. Таким образом, проводниками метана являются не только разрывные нарушения, непосредственно выходящие на дневную поверхность, но и те, что имеют продолжение в виде геодинамических зон (рис.1), которые необходимо учитывать при оценке опасности по выделению метана на территории горных отводов закрытых шахт.

Для расчета количества метана и времени его миграции к земной поверхности рассматривается случай полного заполнения метаном выработанного пространства и варианты его миграции к дневной поверхности по пластам подработанных трещиноватых горных пород (согласно МакНИИ) и в пределах ГДЗ [3].

Приблизительное время, в течение которого весь данный объем метана выделится на поверхность ($T_{\text{выд}}$, лет) можно определить следующим образом:

$$T_{\text{выд}} = \frac{V}{365 \cdot Q}$$

Для расчета объема газа метана, который выделяется в выработанное пространство закрытой шахты из углепородного массива при отсутствии вентиляции и дегазационных скважин была принята переработанная формула ИГД им. А.А. Скочинского, где предлагается определять объем метана, который выделится на 1 погонный метр (п.м.) выработанного пространства закрытой шахты:

$$V = \gamma_y \cdot f_i \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot (x_i - x_{0i})$$

где γ_y – объемная масса угля, т/м³;

x_i, x_{0i} – соответственно природная и остаточная газоносность i -го пласта угля, м³/т.

m_i – мощность i -го пласта угля (источника метановыделения), м;

n – количество угольных пластов-источников.

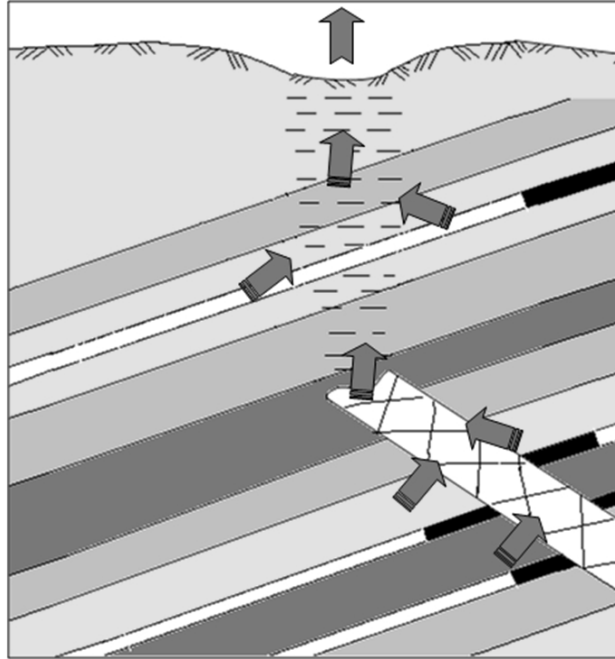





Рис. 1 Процесс фильтрации метана по разрывным нарушениям и ГДЗ
Условные обозначения:

-  – разрывное нарушение;
-  – геодинамическая зона (ГДЗ);
-  – направление движения метана.

Для этого необходимо определить площадь 1 п.м. выработанного пространства (f_i , м²):

$$f_i = l_i \cdot 1.m$$

где l_i – ширина выработанного пространства, м.

Расчет объема свободного газа метана выполняется на основе следующего выражения:

Объем газа метана, который фильтруется через трещиноватый породный массив в пределах ГДЗ за единицу времени (Q , м³/с) может быть определен на основе переработанной формулы Дарси:

$$Q = \frac{\Delta P \cdot S}{L \cdot \eta} \cdot K_T$$

где S – площадь 1 п.м. дневной поверхности в пределах ГДЗ или проводящего пласта, где выходит метан, м²;

L – путь фильтрации метана (расстояние до поверхности), м;

η – динамическая вязкость метана, Па·с;

K_T – величина коэффициента газопроницаемости проводящего пласта либо области углепородного массива в пределах ГДЗ, м².

Таким образом, при наличии сведений об остаточной газоносности угольных пластов и параметров распространения ГДЗ возможно выполнить расчет количества и времени эмис-

сии метана из выработанного пространства к земной поверхности для каждой конкретной закрытой шахты.

Одним из главных параметров для выполнения расчетов является площадь проявления ГДЗ и ее привязка к рельефу земной поверхности горного отвода угольной шахты. Для определения площади проявления ГДЗ в рельефе земной поверхности был разработан метод численного моделирования линеаментного анализа, позволяющий анализировать рельеф земной поверхности при помощи прикладных программ на персональном компьютере.

Для выполнения линеаментного анализа земной поверхности был использован метод кубической сплайн-интерполяции, с помощью которого были построены карты границ распространения линеаментов на исследуемых участках земной поверхности горных отводов шахт «Заперевальная №2» и «Куйбышевская» соответственно [4].

Разработанный метод численного моделирования линеаментного анализа позволяет не только получить план поверхности исследуемого участка, но и рассчитать границы распространения ГДЗ.

Для подтверждения результатов аналитических расчетов выполнялись полевые измерения содержания метана в почве на территории горных отводов закрытых шахт «Заперевальная №2» и «Куйбышевская», которые осуществляли при помощи шахтного интерферометра ШИ-11. Профили измерений закладывались вкрест простираения выделенных ГДЗ таким образом, чтобы не только охватить области распространения ГДЗ, но и выполнить измерения за их пределами. Шаг измерений составлял 10 м. Средние значения содержания метана в почве в пределах ГДЗ составили: для горного отвода шахты «Заперевальная №2» $C_{ср\text{едн}}=0,55\%$ (рис. 2) и для горного отвода шахты «Куйбышевская» $C_{ср\text{едн}}=0,72\%$ (рис. 3), за пределами ГДЗ наблюдались нулевые значения. Это соответствует расчетным средним значениям концентрации метана в пробе почвенного воздуха, объемом 1 л., заполнение которой происходит в течение 1 мин.:

– для горного отвода шахты «Заперевальная №2»: $C_{расч.}=0,6\%$;

– для горного отвода шахты «Куйбышевская»: $C_{расч.}=0,8\%$.

Следовательно, ошибка вычислений не превышает 10%.

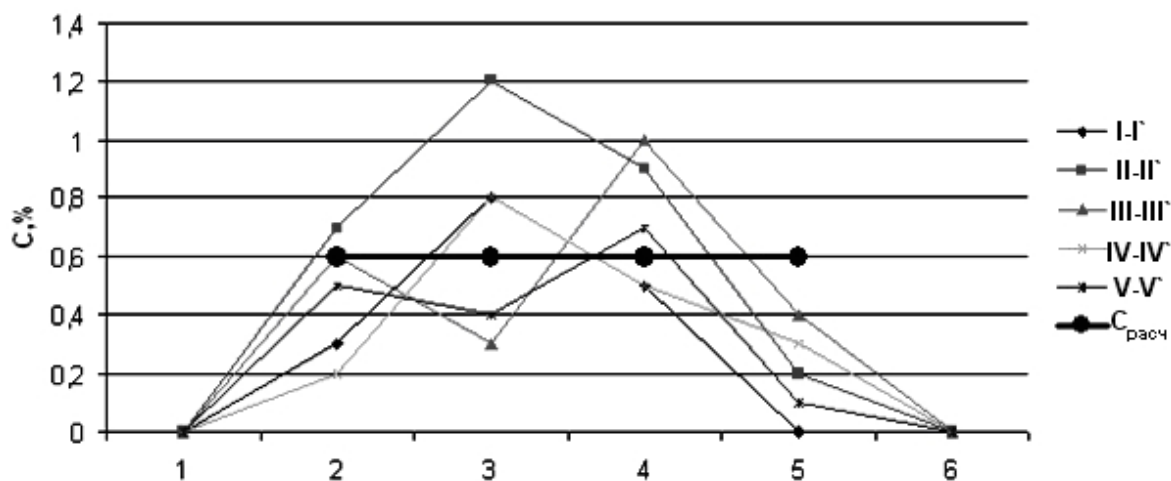


Рис. 2. Содержание метана в почве в пределах ГДЗ на территории горного отвода ш. «Заперевальная №2».

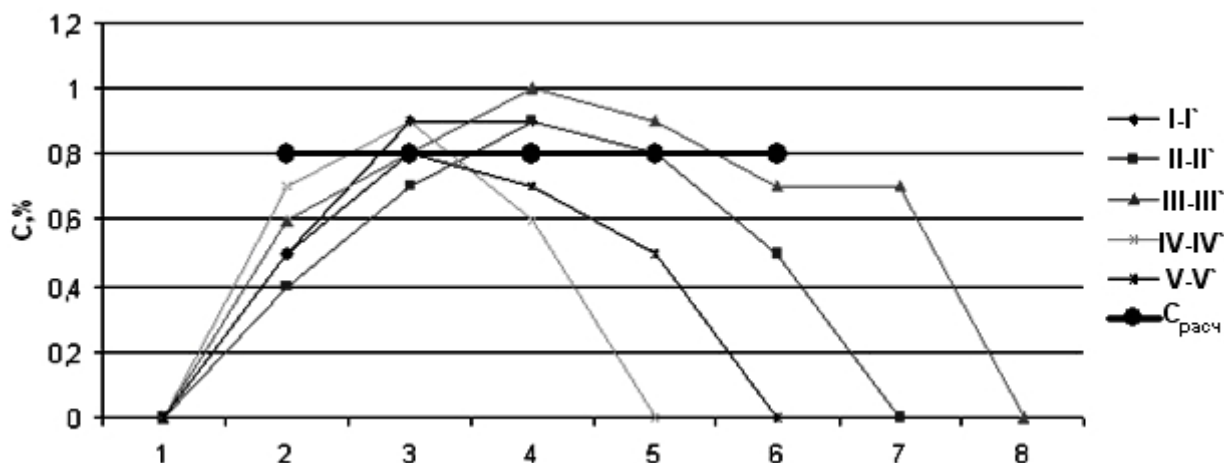


Рис. 3. Содержание метана в почве в пределах ГДЗ на территории горного отвода ш. «Куйбышевская».

Таким образом, натурные исследования подтверждают как наличие метана в пределах распространения ГДЗ, так и точность выполнения аналитических расчетов.

На основании проведенных исследований, была решена научно-техническая задача по совершенствованию метода прогноза времени выделения метана и его количества путем учета дополнительных путей миграции в виде геодинамических зон.

Список литературы

1. Защита зданий от проникновения метана/ Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 2001. – 61 с.
2. Подрухин А.А. Исследование миграции метана на дневную поверхность в пределах горного отвода ликвидированной шахты «Кочегарка» / Сб.: Физико-технические проблемы горного производства/ Вып. №9. Под общей редакцией А.Д. Алексева. - Донецк: ИФГП НАНУ, 2006. – с. 186-192.
3. Гринев В.Г., Сергиенко А.И., Подрухин А.А. Исследование процесса миграции метана из выработанного пространства закрытых шахт / Сб.: Физико-технические проблемы горного производства/ Вып. №12. Под общей редакцией А.Д. Алексева. - Донецк: ИФГП НАНУ, 2009. – с. 74-79.
4. Сергиенко А.И., Подрухин А.А. Графоаналитический способ определения границ распространения геодинамических зон на земной поверхности в пределах горных отводов закрытых шахт / Сб.: Физико-технические проблемы горного производства / Вып. №13. Под общей редакцией А.Д. Алексева. - Донецк: ИФГП НАНУ, 2010. – с. 128-135.