

УДК 622.281:533.6

## ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ УТАС ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ГАЗОВОМУ ФАКТОРУ

Азаров Н. Я., Анциферов А. В., Тиркель М. Г., Канин В. А.  
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Брюм В. З., Моргунов Ю. Ю., Хороших Л. В.  
(ГП «Петровский завод угольного машиностроения»,  
г. Донецк, Украина)

*Завдання виявлення аномальних по виділеннях газу зон розв'язується системою УТАС, яка має в своєму арсеналі датчики водню і важких вуглеводнів. Це дозволяє не тільки контролювати вміст в атмосфері гірничих виробок зазначених газів, але і прогнозувати підхід до зон тектонічних порушень, що є колекторами міграції газів глибинного походження.*

*A problem of detecting gas-emission anomalous zones is solved by UTAS system (universal telecommunication automated system) that contains hydrogen and heavy hydrocarbon sensors. This allows not only checking content of the mentioned gases in the atmosphere of mine workings but also predicting approach to zones of tectonic faults which are reservoirs for migration of deep-origin gases.*

### **Актуальность вопроса.**

Количество аварий в угольных шахтах Украины, сопровождающихся смертельным травматизмом, несмотря на выполнение различных программ повышения безопасности горных работ, остается достаточно высоким. Особенно участились в последние годы вспышки и взрывы рудничного газа.

Такая ситуация, продолжающаяся не одно десятилетие, указывает на необходимость пересмотра ряда старых и разработки новых стандартов по охране труда.

Хуже всего обстоят дела со стандартами в области контроля рудничной атмосферы. Существующие на шахтах датчики термокаталитического действия тарируются исключительно по метану, а реагируют на все горючие газы, встречающиеся в рудничной атмосфере. Среди этих газов особое внимание следует обращать на тяжелые углеводороды, так как с увеличением глубины горных работ содержание гомологов метана в угольно-породном массиве и в горных выработках возрастает, а пределы их взрываемости в смеси с воздухом значительно ниже, чем у метана (табл. 1).

Таблица 1  
Свойства и пределы взрываемости рудничных газов

| Наименование газа                     | Плотность, г/л при 0 °С и 760 мм рт. ст. | Температура кипения, °С | Температура самовозгорания, °С | Пределы взрываемости в смеси с воздухом / гремучая смесь, % |
|---------------------------------------|--|-------------------------|--------------------------------|---|
| Водород H <sub>2</sub>                | 0,090                                    | - 252,6                 | 510                            | (4–75) / 32,3   |
| Метан CH <sub>4</sub>                 | 0,717                                    | - 164,5                 | 538                            | (5–16) / 9,8  |
| Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>    | 1,357                                    | - 88,6                  | 472                            | (2,9–15) / 7,7  |
| Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | 2,010                                    | - 42,1                  | 466                            | (2,1–9,5) / 4,6   |
| Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>  | 2,519                                    | - 0,5                   | 405                            | (1,5–8,5) / 3,6   |
| Пентан C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | 3,457                                    | 36,1                    | 287                            | (1,1–6,7) / 3,0   |
| Гексан C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> | 3,840                                    | 69,0                    | 234                            | -   |

Рассматривая проблему взрывов рудничного газа в угольных шахтах, следует особенно подчеркнуть, что одной из их причин являются аномальные выделения горючих газов в горные выработки. Природа этих аномалий достаточно разнообразна, но наиболее опасным представляется недостаточно исследованное и непрогнозируемое в настоящее время выделение газов глубинного происхождения.

Традиционно считается, что метан в угле образуется вследствие углефикации органического вещества. Теория органического происхождения метана общеизвестна. Она исчерпывающе объясняет выявленные глобальные закономерности распределе-

ния метана в угольных месторождениях по площади и вертикали в зависимости от марочного состава угля.

Однако в последние годы уже появились доказательства возможности геологически мгновенного формирования газовых и нефтяных залежей и даже их пополнения в процессе разработки [1, 2]. Следовательно, на современном геологическом этапе глубинные палеофлюиды могут способствовать также и поступлению метана с формированием в границах газугольных месторождений техногенных залежей.

Метан глубинного происхождения разделяется на термогенный метан, поступающий из более глубоко залегающих угольных пластов, а также из нефтяных или газовых залежей, залегающих ниже каменноугольных отложений [3, 4], и эндогенный метан, проникающий в осадочную толщу с угольными пластами непосредственно из мантии по глубинным разломам и разломам кристаллического фундамента [4, 5].

Работы по геологии и геохимии природных газов, выполненные в МГРИ, позволили А. И. Кравцову [6] сделать вывод о том, что метан и его гомологи могут образовываться в результате миграции водорода и окиси или двуокиси углерода из подкоровых глубин Земли. При этом водород, как наиболее легко диффундирующий, достигает дневной поверхности быстрее других газов. Диффузия водорода происходит не только по трещинам, но, по-видимому, и через кристаллическую решетку минералов, слагающих горные породы. Затем, в порядке убывающей последовательности по скорости миграции, к дневной поверхности поступает метан и его гомологи.

В работе [7] Н. Б. Вассоевич отмечает, что «верхняя мантия за счет своей дегазации способствует обогащению стратисферы дополнительными количествами водорода, метана, углекислоты, воды, которые, по всей видимости, принимают участие в создании увосферы». Качественных и количественных оценок влияния дегазации мантии на процессы нефтегазообразования и создание увосферы пока нет. Тем не менее, вполне возможно, что поток метана и других летучих, попадающий в осадочные бассейны, оказывает определенное воздействие на качество увосферы и перемещение в ней углеводородов.

Доказательством того, что не все залежи углеводородов связаны с органическим происхождением, являются скопления нефти и газа, обнаруженные во всех исследованных достаточно мощных осадочных бассейнах, как на континентах, так и периферийных частях Мирового океана, независимо от возраста отложений, географического и климатического их положения. Нефтегазопроявления все чаще открывают в горных складчатых областях. Встречаются они в пределах метаморфических и кристаллических выступов фундамента платформ. По мере увеличения глубины бурения все ниже отодвигается граница их распространения. Во всяком случае, 7-8 км уже не предел.

Возможность неорганического происхождения огромных запасов углеводородов подтверждается и результатами космических исследований [8, 9].

Возможность насыщения угольно-породного массива нефтяными продуктами, залегающими ниже каменноугольных пластов в районе крупных надвигов, подтверждается также случаями нефтепроявлений на шахтах Донбасса («Чайкино», им. Е. Т. Абакумова, им. В. М. Бажанова, им. А. Г. Стаханова, «Комсомолец», «Кременная»), разрабатывавших пласты угля марок ГЖ-К на глубинах свыше 800 м [10-12].

Наиболее интенсивное выделение жидких углеводородов, представленных газовым конденсатом плотностью  $0,8246 \text{ г/см}^3$ , в объеме более 500 л произошло на шахте «Комсомолец» [10, 11] на горизонте 850 м при бурении дегазационной скважины с откаточного штрека пласта  $k_4$  на песчаник  $k_4Sk_4^1$ . При бурении других скважин на этом участке наблюдались интенсивные выделения газа с дебитом до 28,8 тыс.  $\text{м}^3/\text{сут.}$ , в котором помимо метана (97-98 %) присутствовали этан, пропан, бутан, пентан и другие высшие углеводороды.

Газовый конденсат плотностью  $0,8414 \text{ г/см}^3$  был обнаружен и на шахте им. В. М. Бажанова в выработках пласта  $m_3$ , в котором содержание тяжелых углеводородов достигало  $1,4-1,6 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$  При этом в угольных пластах свиты  $C_2^6$ , подстилающих поле шахты им. В. М. Бажанова, содержание водорода увеличивается с  $0,20-0,25 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$  – на глубинах 600-700 м, до  $0,52-0,53 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$  – на глубинах 1000-1200 м.

На шахте им. А. Г. Стаханова жидкие углеводороды с дебитом 2-3 л/ч выделялись из трещин выбросоопасного песчаника  $I_2Sl_2^1$  при проходке полевого штрека на глубине 986 м. По результатам фракционного анализа и определения группового состава, выполненных соответственно в институтах физико-органической химии и углехимии и геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины, углеводородная жидкость плотностью  $0,805 \text{ г/см}^3$  представляла собой высококачественную нефть.

### Результаты исследований.

На протяжении последних пяти лет УкрНИМИ НАН Украины совместно с ИГМР НАН Украины выполняли исследования закономерностей распределения изотопного состава рудничного газа в тектонических нарушениях [13-16], которые подтвердили идею глубинного генезиса части углеводородов, выделяющихся в угольных шахтах.

Установлено, что в аномальных по газовыделению зонах, приуроченных к тектоническим нарушениям, которые связаны с разломами кристаллического фундамента, происходит утяжеление изотопного состава углерода метана ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ) и углекислого газа ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ ), уменьшается разница ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} - \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ ), возрастает концентрация гелия (He) и водорода ( $\text{H}_2$ ), понижается количественное соотношение  $\text{H}_2/\text{He}$ , возрастает суммарная концентрация тяжелых углеводородов.

На диаграмме в координатах  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} - \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  (рис. 1) проанализированные нами пробы, отобранные на шахтах им. А. Ф. Засядько и «Краснолиманская» представлены, в основном, газом термогенного генезиса, но газ нескольких проб на шахте им. А. Ф. Засядько по изотопному составу углерода метана ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ) и углекислого газа  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ , а на шахте «Краснолиманская» по  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  приближается к эндогенному.

При рассмотрении этой диаграммы следует обратить внимание на особенности расположения проб, отобранных на шахтах им. А. Ф. Засядько и «Краснолиманская». В пробах шахты им. А. Ф. Засядько наблюдается значительный разброс значений и  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  (от -42,5 до -20,4 ‰) и  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  (от -24,88 до -6,5 ‰). В пробах шахты «Краснолиманская» имеется большой разброс значений  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  (от -20,75 до -8,12 ‰) при небольшом

разбросе значений  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  (от -37,58 до -34,51 ‰). В среднем, метан на шахте им. А. Ф. Засядько имеет более тяжелый изотопный состав углерода, а несколько проб с  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} \geq -25$  ‰ содержат метан с изотопным составом углерода, установленным в вулканических газах и термальных источниках. На шахте «Краснолиманская» более тяжелым является углекислый газ. В зонах тектонических нарушений эти различия существенно усиливаются.

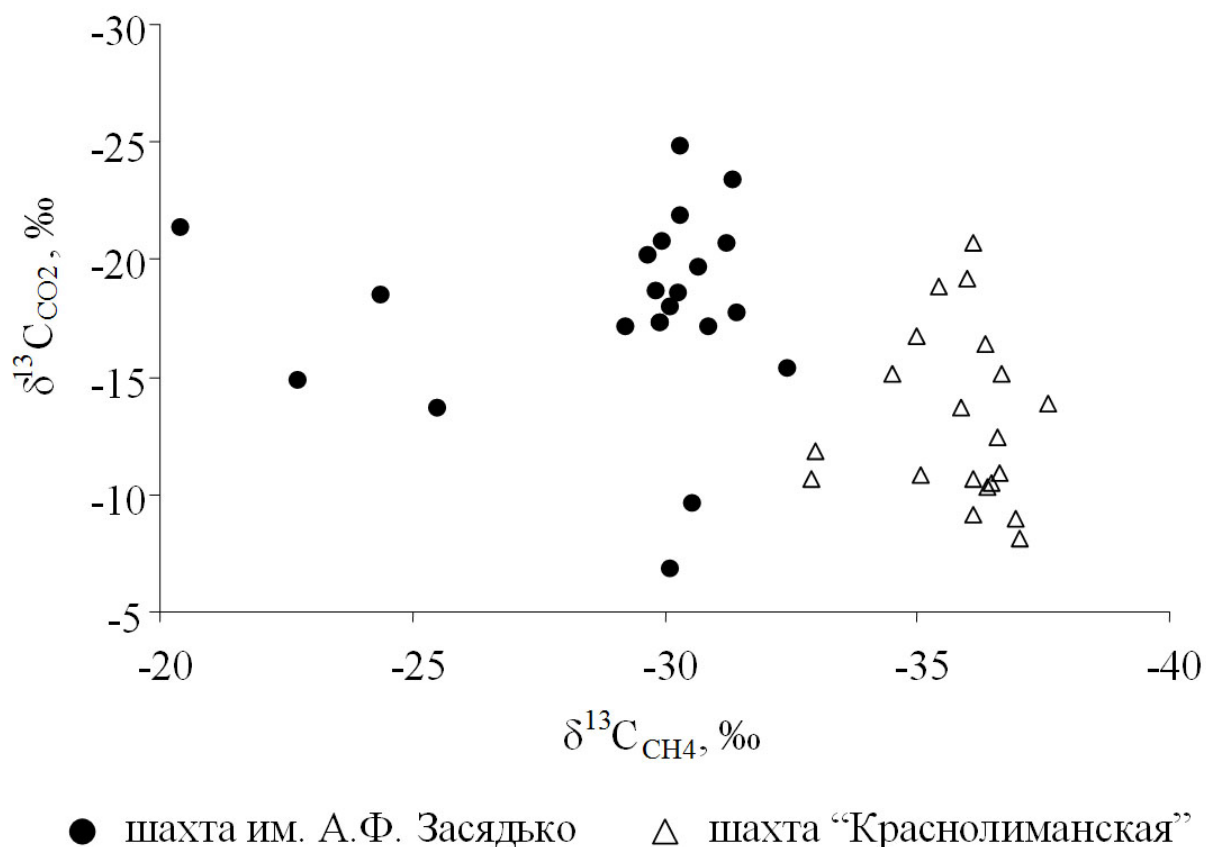


Рис. 1. Диаграмма распределения исследованных проб газа в координатах  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} - \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$

Следует отметить, что обе шахты разрабатывают угольные пласты с одинаковым марочным составом (марка угля Ж), но расположены в различных геолого-промышленных районах и ведут горные работы на разных глубинах (на шахте им. Засядько пласт  $l_1$  – 1100 м, пласт  $m_3$  – 1340 м; на шахте «Краснолиманская» пласт  $k_5$  – 950 м). Эти условия, вероятнее всего, и определяют различия в генезисе и путях миграции глубинного метана в горные выработки. На шахте «Засядько» встречается метан,

близкий к эндогенному происхождению, мигрирующий по разломам кристаллического фундамента и тектоническим нарушениям в осадочной толще из верхних слоев мантии. На шахте «Краснолиманская» преобладает метан термогенного происхождения, который был генерирован на большой глубине из угля более высокой степени метаморфизма и мигрировал в шахту по сети тектонических нарушений.

### **Предложения.**

Исходя из вышеизложенного, для предупреждения вспышек и взрывов рудничного газа путем своевременного выявления опасных концентраций газовых смесей предлагается разработать новые стандарты. Во-первых, – учитывая, что в аномальных по газовыделению зонах возрастает суммарная концентрация тяжелых углеводородов, стандарты должны предусматривать отдельный контроль содержания горючих газов (метана и тяжелых углеводородов) датчиками нового поколения. Во-вторых, – стандарты должны оценивать опасность ситуации по интегральной характеристике взрывоопасности рудничной атмосферы. Исходя из вышеизложенного, для предупреждения вспышек и взрывов рудничного газа путем своевременного выявления опасных концентраций газовых смесей необходимо разработать новые стандарты. Во-первых, – по отдельному контролю содержания горючих газов датчиками нового поколения и, во-вторых, – по выявлению опасных ситуаций по интегральной характеристике взрывоопасности рудничной атмосферы. Кроме того, новые стандарты должны предусматривать цифровую передачу информации с датчиков, которая исключит любое несанкционированное вмешательство в этот процесс, и будет гарантировать достоверность получаемых для анализа данных.

В настоящее время практическое решение такой задачи может быть реализовано с использованием унифицированной телекоммуникационной автоматизированной системы (УТАС), разработанной ГП «Петровский завод угольного машиностроения» совместно с фирмой TROLEX Ltd (Великобритания). Основное назначение данной системы – управление безопасностью горных работ путем распознавания и прогнозирования предаварийных и аварийных ситуаций на начальных стадиях. Она включает в себя

более 10 подсистем, осуществляющих управление горношахтным оборудованием. Для контроля параметров машин, механизмов и окружающей среды в состав телекоммуникационных средств и устройств управления системы УТАС входит более 15 типов датчиков, установленных в подземных условиях. УТАС обеспечивает также передачу всей информации на поверхность горному диспетчеру и руководству шахты для принятия оперативных решений на базе постоянно накапливаемых и обрабатываемых данных.

Весьма важным обстоятельством является то, что УТАС представляет собой открытую систему и в случае необходимости ее можно доукомплектовывать новыми устройствами.

Задачу выявления аномальных по выделениям газа зон система УТАС может решать уже сегодня, так как в ее арсенале имеются датчики водорода и тяжелых углеводородов. Это имеет большое значение, поскольку другие существующие системы управления безопасностью из всей гаммы рудничных газов фиксируют только метан.

### **Выводы.**

Использование в системе УТАС датчиков водорода и тяжелых углеводородов позволяет не только контролировать их содержание в атмосфере горных выработок, но и прогнозировать подход к зонам тектонических нарушений, являющихся коллекторами миграции газов глубинного происхождения.

С одной стороны такая информация позволит своевременно выполнять необходимые профилактические мероприятия для повышения безопасности работ, а с другой – выявлять в пределах шахтных полей действующих и закрывающихся шахт перспективных участков для добычи метана.

## **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Соколов В. А., Гусева А. Н. О возможной быстрой современной генерации нефти и газа // Вестн. МГУ. – Сер. 4. Геология. – 1993. – № 3. – С. 39–46.
2. Дмитриевский А. Н., Валяев Б. М., Смирнова М. Н. Механизмы, масштабы и темпы восполнения нефтегазовых залежей в



- процессе их разработки // Генезис нефти и газа. – М.: ГЕОС, 2003. – С. 106–109.
3. Прасолов Э. М., Лобков В. А. Об условиях образования и миграции метана (по изотопному составу углерода). – *Геохимия*, 1977, № 1. – С. 122-135.
  4. Ємець О. В., Лугова І. П., Канін В. О., Таранік О. О., Мороз В. С. Генезис вугільних газів з відкладів карбону території шахти ім. А. Ф. Засядька (Донбас) // *Доповіді НАН України*. – 2008. - № 4. – С. 120-124.
  5. Прасолов Э. М. Изотопная геохимия и происхождение природных газов. – Л.: Недра 1990. – С. 283.
  6. Кравцов А. И. Основы геологии горючих ископаемых. – М.: Высшая школа, 1966. – 524 с.
  7. Вассоевич Н. Б. Теория осадочномиграционного происхождения нефти (исторический обзор и современное состояние) // *Изв. АН СССР. Сер. геол.* – 1967. – № 11. – С. 135-156.
  8. *Voyager to Jupiter and Saturn*, (Washington, DC NASA SP-420, 1977), pp. 53-55.
  9. Matson, D. L, Spilker, L. J., and Lebreton, J.-P. The Cassini / Huygens Mission to the Saturnian System. *Space Science Reviews*. – 2002. – 104. – P. 1-58.
  10. Карлов А. И., Канин В. А., Мегель Ю В. Нефтепроявления в Центральном районе Донбасса // *Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело*. – 1980. – № 5. – С. 8-9.
  11. Временное методическое руководство по изучению газоконденсатонефтепроявлений и прогнозированию их локальных скоплений в каменноугольных отложениях Донбасса при геологоразведочных и горно-эксплуатационных работах. - Харьков-Донецк-Киев, 1984. – 54 с.
  12. Канин В. А., Тихолиз А. М., Голубев А. А., Пашенко А. В. Взрывоопасные компоненты рудничного газа // *Уголь Украины*. – 2005.– № 7. – С. 28–30.
  13. Анциферов А. В., Канин В. А., Тараник А. А. Новые представления об источниках выделения горючих газов в горные выработки // Вторая международная научно-практическая конференция «Пути повышения безопасности горных работ в

- угольной отрасли». Тезисы докладов. 1-2 ноября, г. Макеевка, 2007 г. – с. 91-93.
14. Емец А. В., Луговая И. П., Канин В. А., Тараник А. А. Происхождение метана угольных газов Донбасса по данным изотопных исследований // Сб. тез. XVIII Симпозиума по геохимии изотопов (Москва, октябрь 2007), – С. 92-93.
15. Ємець О. В., Лугова І. П., Канін В. О., Таранік О. О., Мороз В. С. Генезис вугільних газів з відкладів карбону території шахти ім. А. Ф. Засядька (Донбас) // Доповіді НАН України. – 2008. - № 4. – С. 120-124.
16. Канин В. А., Тараник А. А., Емец А. В. Характер распределения углеводородных газов на шахте «Краснолиманская» и возможная природа их образования // Проблемы гірничої технології: матеріали регіональної науково-практичної конференції, Красноармійський індустріальний інститут ДонНТУ, 28 листопада 2008 р. – Донецьк: Цифрова типографія, 2008. – С. 21-27.