

Рис. 8 – Изменение газоносности угольного пласта  $d_4$  (а) и схематический разрез вкрест простирания горных пород (б) на поле шахты «Красноармейская-Западная № 1»

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет по теме 1/68 «Изучение газоносности угленосных отложений Донбасса прямыми геохимическими методами». УкрНИИГаз, Харьков, 1970. -351 с.
2. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка методичних та технологічних питань, пов'язаних з використанням вуглеводнів. Дослідження кількісного співвідношення впливу різних чинників на формування газоносності вугільних пластів Красноармійського та Павлоградсько-Петропавлівського районів» по темі ГП-343, НГУ, 2005. -96 с.

**УДК 622.831.322**

Канд. техн. наук М.М. Андреев,  
инж. М.М. Андреев

### **ИМПУЛЬСНЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАНА ИЗ РАЗГРУЖАЕМОГО УГЛЕНОСНОГО МАССИВА**

Розроблені основні положення методу прогнозу імпульсного виносу метану із розвантаженого вугленосного масиву вугільних шахт, перевірка якого в умовах діючих об'єктів показала його надійність. На базі цього методу пропонується виконати доповнюючі дослідження та розробити державний нормативний документ для прогнозу імпульсного виносу метану із розвантаженого вугленосного масиву.

### **PULSE ALLOCATION OF METHANE FROM AN UNLOADED CARBONIFEROUS FILE**

Substantive provisions of a method of the forecast of pulse allocation of methane from the unloaded carboniferous file, which check in the conditions of operating objects has shown its

reliability are developed. On the basis of this method it is offered to conduct additional researches and to develop the state standard document for the forecast of pulse allocation of methane from an unloaded carboniferous file.

Импульсные выделения метана из разгружаемого угленосного массива (ИВМ) исследовались только на уровне внезапных выбросов угля и газа. Не установив физико-химические причины явления, нормативные документы определяют склонность к выбросам косвенными показателями, которые получены статистически вероятностными методами исследования (СВМ). Коэффициент неравномерности выделения метана, установленный методом СВМ, не соответствует реальным газопроявлениям и не вскрывает причин их возникновения [1]. Достаточно отметить, что практически все взрывы метана произошли при ИВМ. Сложность определения параметров ИВМ состояла в отсутствии критерия оценки газовой обстановки в рассматриваемый момент на выемочном участке. Термодинамика угленосного массива, как раздел горной науки, определила такие критерии, и позволила сформулировать сущность ИВМ [2].

Под импульсным подразумевается выделение метана, превышающее его интегральную метанообильность  $q_u$  (ИМ). Важность заблаговременного определения длительности  $\Delta t$ , периодичности  $\Delta \tau$  и амплитуды  $I_{max}$  ИВМ состоит в своевременном принятии необходимых мер для предупреждения аварийной обстановки в горных выработках.

Для технологического характера формирования ИВМ в пластовых подготовительных выработках, проводимых вне зоны влияния очистных работ, разработан динамический метод прогноза их метанообильности. Проверка метода в шахтных условиях показала, что в общем случае ИВМ происходят при выемке угля [3]. При отдельной выемке угля  $\Delta \tau$  соответствует периодичности выемки угля в технологическом цикле проведения выработки,  $\Delta t$  – примерно половине цикла, а амплитуда превышает на 25-50%  $q_u$ . При взрывном способе выемке угля  $\Delta t$  сокращается в 4-7 раз, а величина  $I_{max}$  возрастает примерно на порядок. Количество выделившегося метана при этих способах практически пропорционально массе вынуженного угля.

Геологический характер формирования ИВМ обусловлен наличием в непосредственной близости от контура выработки угольного пласта-«спутника». В поле шахтоуправления «Бутовское» ГП «Макеевуголь» при проведении пластовых подготовительных выработок вне зоны влияния очистных работ произошло более 50 ИВМ различной интенсивности [3]. Шахта отрабатывает одиночный пласт  $n_1$  мощностью 1,55-1,85м, в кровле которого на расстоянии 6–11м залегает угольный пропласток  $n_1^0$  мощностью 0,15-0,25м. При взрывном способе проведения выработок случаем ИВМ геологического характера не наблюдалось. При внедрении комбайнового способа проведения выработок в вентиляционной сбойке №1 на расстоянии более 360м от забоя произошло ИВМ, величина  $I_{max}$  которого

превысила 70 м<sup>3</sup>/мин (на исходящей струе шахты концентрация газа достигла 1,7%). Металлическая арочная крепь выработки (сечение 15 м<sup>2</sup>, высота 3,8м) на протяжении 28м была деформирована, а высота уменьшилась до 0,8м. Через 290м подвигания выработки в забое произошло «внезапное» обрушение кровли. Пять призабойных рам были деформированы и опрокинуты. При проведении бортового ходка №8 в 18м от забоя после незначительного капежа воды «внезапно» обрушившейся породой полностью завалило 10м выработки. Направлявшиеся к забою рабочие ощутили струю охлажденной газоздушной смеси. Снижение температуры воздуха в атмосфере выработки показывает, что работа выхода  $A_{кр}$ , которая была направлена на разрушение породной пробки между выработкой и угольным пропластком  $n_1^0$ , осуществлена сжатым газом, образовавшегося в окрестности этого пропластка [3,4].

Механизм таких ИВМ можно представить следующим образом. В окрестности периметра выработки формируется зона разгрузки угленосного массива от геостатического давления, к которому прилегает зона опорного давления. Коэффициент концентрации горного давления относительно геостатического  $\gamma H$  в зоне разгрузки  $n \leq 1$ , а в зоне опорного давления –  $n \geq 1$ .

При формировании и развитии во времени и пространстве зоны разгрузки в окрестности проводимой выработки зона опорного давления достигает пропластка  $n_1^0$ , в макромолекуле горючей массы которого образуется молекула воды. Когда снижение давления на пласт  $n_1^0$  достигнет  $\gamma H$ , в макромолекуле угля начинает формироваться газовая фаза вещества, которая поддерживает давление в системе на уровне геостатического. Ионные потоки активного комплекса макромолекулы угля совместно с вытесняемыми из нее молекулами воды устремляются в сторону меньших давлений через породную толщу в пространство выработки. В системе пластообразования  $n_1^0$  продолжает накапливаться газовая фаза вещества под давлением  $\sim \gamma H$ . Когда энергия образовавшегося газа достигнет критической величины  $A_{кр} \geq E = \int p dv$ , (здесь  $p$  – давление газа;  $V$  – объём газа) происходит, так называемый, «взрыв котла».

Характерным признаком, предшествующим такому проявлению ИВМ, явилось появление влажности на стенках и кровли выработки в месте прорыва газа (иногда незначительного капежа), сопровождающегося динамическим (взрывным) обвалом пород и разрушением крепи.

Для предупреждения таких ИВМ в шахтоуправлении «Бутовское» при проведении пластовых выработок вдоль оси штрека начали бурить на пласт  $n_1^0$  короткие вертикальные дренажные скважины. На главной откаточной магистрали в 252 м от забоя через такую скважину произошел прорыв метана объемом более 1.5 тыс. м<sup>3</sup>, который продолжался в течение 5 часов. Прорывы газа чередовались с прорывами воды, а звуковой эффект напоминал запуск реактивного двигателя. Но завала выработки не

произошло. В других выработках также происходили прорывы газа, но без завалов выработок [3,4].

В очистных выработках ИВМ техногенного характера также приурочены к процессу выемки угля. В районе режущего органа комбайна величина  $I$  изменяется в несколько десятков раз, а на комбайновой дороге в верхней части лавы – в несколько раз относительно интегрального ее значения. Из-за несовершенства системы контроля концентрации метана в этих местах лавы такие случаи расследуются обычно только при получении машинистами комбайнов сильных ожогов (шахты «Вергилевская», им. Касиора, ...) [5].

Геологический характер реализации ИВМ обусловлен выделением метана из угольных пластов-«спутников». При отработке пластов  $m_3$  (шахты им. Бажанова, «Чайкино», им. Засядько),  $l_1$  (шахты «Щегловская-Глубокая», им. Засядько),  $h_{10}^B$  (шахты «Холодная Балка», им. Кирова) ИВМ обусловлены наличием в САСТ мощных песчаников, прочностные свойства которых сдерживают развитие связанных трещин в массиве. Когда газовое давление в угольных пластах, расположенных выше (ниже) этих песчаников, совместно с разрушающим воздействием ионизированных потоков из горючей массы обеспечит в них аэродинамическую связь между трещин, происходят ИВМ, интенсивность которых иногда превышает двукратное значение  $q_{ин}$ .

Характерным признаком, предшествующим такому проявлению ИВМ, является снижение относительной метанообильности участка по сравнению с  $q_{ин}$ .

При отходе лавы от разрезной печи ИВМ из спутников сопровождаются ростом  $q_{ин}$ .

На примере участка спаренных 45 и 46 лав пласта  $k_3^I$  шахты им. Кирова (рис.1, табл.1) видно, что выделение метана из близ расположенных пластов  $k_4^I$ ,  $k_4^I$  и  $k_3^B$  происходит по мере выемки угля практически вместе с разрабатываемым пластом. Через четыре месяца работы лавы ИВМ из пластов  $k_4^{2n}$  и  $k_3^H$  обеспечили рост  $q_{ин}$  до 26 м<sup>3</sup>/т. Через девять месяцев при достижении удаления лавы от разрезной печи на расстояние примерно равном длине лавы (так называемый «квадрат») в 1,4 раза интенсифицировалось выделение метана из всех угольных пластов [6]. Дальнейшие ИВМ из спутников практически не повлияли на величину  $q_{ин}$ . Аналогичная картина наблюдалась и при отработке 1 и 2 западных лав пласта  $l_8^B$  гор. 710м шахты им. Ильича (рис.2, табл.1). Обращает на себя внимание почти двукратное расхождение  $q_{ин}$  45 и 46 лав с одинаковыми горно-геологическими условиями и равными нагрузками, причины которого изложены в работе [6]. Этот случай ставит под сомнение возможность принимать для расчета метанообильности проектируемых лав аналогичные условия отработанных участков [1].

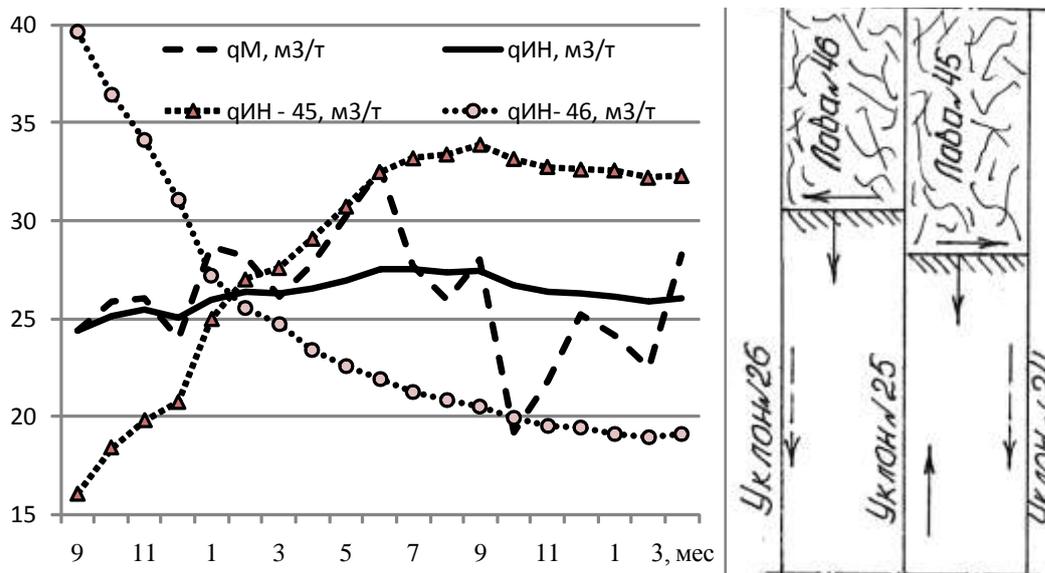


Рис.1 – Динамика ежемесячного изменения интегральной  $q_{ин}$  и месячной  $q_m$  метанообильности по участку спаренных 45 ( $q_{ин} - 45$ ) и 46 ( $q_{ин} - 46$ ) лав пласта  $k_3^1$  шахты им. Кирова, обрабатываемых по приведенной схеме.

Таблица 1 – Структура газового баланса выемочных участков, выполненного расчетным методом ИМА,  $q_u$  в сопоставлении с натурным  $q_{ин}$

Участок спаренных 45 и 46 лав пласта $k_3^1$					Участок 1 и 2 западных лав пласта $l_8^B$ гор.710 м				
Пласт	$m_{ср}$ , м	Глубина, м	$M$ , м <sup>3</sup> /т.с.б.м	$q_w$ , м <sup>3</sup> /т	Пласт	$m_{ср}$ , м	Глубина, м	$M$ , м <sup>3</sup> /т.с.б.м	$q_w$ , м <sup>3</sup> /т
$k_4^{2H}$	0,55	457	8,73	4,31					
$k_4^1$	0,23	496	10,5	2,17					
$k_4$	0,32	506	11	3,15	$m_1$	0,2	577	13,7	1,5
$k_3^1$	0,78	520	11,6	7,71	$l_8^B$	1,28	639	15,5	9
$k_3^B$	0,58	525	11,6	5,73	$l_8^H$	0,35	650	15,7	2,8
$k_3^H$	0,26	531	11,62	2,71					
по участку $q_{ин} = 26,0$ м <sup>3</sup> /т				25,78	по участку $q_{ин} = 12,7$ м <sup>3</sup> /т				13,3

В условиях «квадрата» произошли взрывы метана на шахтах «Чайкино», «Ульяновская» и ряде других.

Особую опасность представляют ИВМ из сопряженных зон разгрузки соседних разрабатываемых пластов. В горные выработки разрабатываемого пласта (выработанное пространство) через систему техногенных аэродинамически связанных трещин (САСТ) метан выделяется из источников, расположенных только в 1/3 толщ разгружаемого от геостатического давления угленосного массива. В оставшейся 2/3 толщ угленосного массива, разгруженной и образовавшей метан, газ под давлением, соизмеримым с геостатическим, консервируется в пластообразованиях из-за неполного развития (отсутствия аэродинамической связи) в ней системы трещин (ЗНРТ). При наложении

ЗНРТ двух смежных пластов обеспечивается развитие и аэродинамическая связь трещин в этой зоне. На шахтах «Краснокутская» и «Суходольская-Восточная» такие ИВМ создавали аварийную обстановку на выемочных участках [7,8]. Интенсивный поток метана, выделяющийся из удаленных источников, является высоко ионизированным. Это создает условия для спонтанного воспламенения метана в рабочем пространстве горных выработок [9]. Большая энергия газа под давлением, соизмеримым с геостатическим, в состоянии разрушить не только породы междупластья, но и крепь выработок [4].

Характерным признаком проявления ИВМ такого типа является резкое повышение относительной метанообильности участка в сравнении с  $q_{ин}$ , сопровождающееся повышенным выделением воды из массива.

Совместная отработка пластов  $m_3$  и  $l_1$  на шахтах «Щегловская-Глубокая» и им. Засядько допускает возможность наложения надрабатываемой пластом  $m_3$  и подрабатываемой пластом  $l_1$  ЗНРТ в общую САСТ. Вопрос требует более тщательной проработки. В условиях 13 восточной лавы пласта  $l_1$  шахты им. Засядько интенсивность ИВМ дважды обеспечивалась источниками, метановый потенциал которых на 60% превышал его величину вне сферы влияния ЗНРТ пласта  $m_3$  (табл.2).

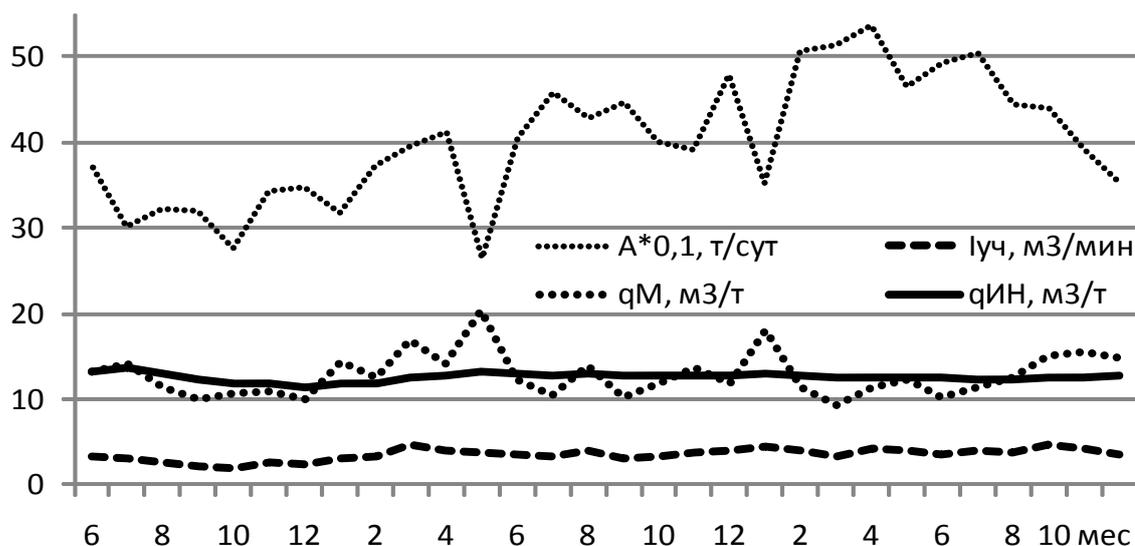


Рис. 2 – Динамика **п**омесячного изменения интегральной  $q_{ин}$  и месячной  $q_m$  метанообильности, среднесуточной добычи  $A$  и абсолютной метанообильности  $I$  по участку 1 и 2 западных лав пласта  $l_8^B$  гор. 710м шахты им. Ильича

### **Выводы**

1. Разработаны основные положения физико-химического метода определения периодичности, амплитуды и интенсивности ИВМ геологического и технологического характера в рассматриваемых условиях [10,11].

2. Необходимо провести дополнительные исследования и разработать нормативный документ по прогнозу ИВМ для выбранного участка рассматриваемой шахты.

3. Данные исследования целесообразно провести под эгидой НАНУ ИГТМ.

Таблица 2 – Структура газового баланса выемочного участка 13 восточной лавы пласта  $l_1$  шахты им. Засядько (по данным скв. 1388)

САСТ пласта $l_1$					ЗНРТ пластов $m_3$ и $l_1$				
Пласт	$m_{ср}$ , м	Глубина, м	$M$ , м <sup>3</sup> /т.с.б.м	$q_w$ , м <sup>3</sup> /т	Пласт	$m_{ср}$ , м	Глубина, м	$M$ , м <sup>3</sup> /т.с.б.м	$q_w$ , м <sup>3</sup> /т
$l_5$	0,44	1036	25,3	3,11	$m_1$	0,2	900	21,4	1,21
$n$	8,71	1043	25,5	1,78	$l_8^2$	0,29	916	21,8	1,79
$n$	13,2	1057	25,9	2,74	$n$	13,1	928	22,2	2,35
$l_4^1$	0,29	1059	26	1,20	$l_8^1$	0,66	931	22,3	4,16
$l_4$	0,63	1075	26,5	4,62	$n$	10,8	951	22,8	2,01
$n$	5,8	1086	26,7	1,24	$l_8$	0,68	952	22,8	4,39
$l_3$	0,57	1093	26,9	4,26	$l_7^1$	0,82	958	23,0	5,28
$l_2^1$	0,47	1105	27,3	3,60	$б/у$	0,57	962	23,2	3,69
					$n$	13,4	976	23,6	2,03
$n$	2	1108	27,4	0,43	$l_7$	0,49	977	23,6	3,23
$l_2$	0,2	1122	27,8	0,87	$б/у$	0,29	978	23,6	1,10
$n$	19,9	1143	28,4	4,42	$l_6^1$	0,29	989	23,9	1,11
$l_1$	1,73	1146	28,5	13,18	$n$	3	991	24,0	0,58
$n$	26,4	1177	29,4	6,08	$l_6$	0,2	996	24,1	0,78
$k_8$	0,92	1187	29,7	7,31	$б/у$	0,34	1001	24,3	2,31
$n$	18	1207	30,3	4,27	$n$	3	1003	24,3	0,59
Итого по САСТ				59,11	$n$	1,8	1006	24,4	0,35
Всего по САСТ и ЗНРТ				96,07	Итого по ЗНРТ пластов $l_1$ и $m_3$				36,95

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К.: «Основа». – 1994. – 312с.
2. Андреев М.М., Камышан В.В., Андреев М.М. Метановый потенциал – критерий надежности методов термодинамики угленосного массива. //Геолог Украины – 2009. –№3. – С. 13-17.
3. Андреев М.М. Термодинамика угленосного массива. // Сб. докладов Международной науч.-техн. конференции «Форум горняков – 2003». – Днепрпетровск: НГАУ, 2003. – С. 31-40.
4. Андреев М.М. Аномальные проявления горного давления в угольных шахтах. //Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1990. – Вып. 87. – С. 11-19.
5. Андреев М.М., Камышан В.В., Ульянов В.П. Формирование метановых потоков угольных шахт и мониторинг их параметров./ Донецк: «Юго-Восток». – 2004. – 47с.
6. Андреев М.М. Особенности газового режима при управлении метанообильностью спаренных лав./ «Безопасность труда в промышленности». – 1991. – №3. – С. 7- 9.
7. Андреев М.М. Взаимное влияние выемочных участков смежных пластов на метанообильность. /Технология добычи и совершенствования горного хозяйства шахт Украины. – Донецк: Донуги. – 1991. – 92-99
8. Ярембаш И.Ф., Андреев М.М. Модель образования свода разгрузки угленосной толщи.//Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1981. – Вып. 60. – С. 75-79.
9. Андреев М.М. О причинах некоторых воспламенений метана в горных выработках шахт. //Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1987. – Вып. 77. – С. 95-101.
10. Андреев М.М. Управление импульсно-неравномерным метановыделением из разгружаемых источником. /Технология добычи угля подземным способом из тонких пластов на шахтах Украинской ССР. – Донецк: Донуги. – 1989. – 133-139.
11. Андреев М.М., Камышан В.В., Андреев М.М. Технологические решения комплексной нейтрализации опасностей очистной выемки. //»Проблеми гірського тиску». – 2007. – Випуск 15. – С. 190- 225.

**ПЕРИОДЫ АПРОБАЦИИ МЕТОДА ПРОГНОЗА ИНТЕГРАЛЬНОЙ  
МЕТАНООБИЛЬНОСТИ ШАХТЫ**

Розроблені аналітичний та натурний методи урахування метанового потенціалу вугільних шахт, апробація яких в умовах діючих об'єктів вдовж 5 термінів (1967 – 2009 рр.) показала високу надійність методу прогнозу інтегральної метанообильності шахт ІМА (~9 тис. порівнянь). На базі цього методу пропонується розробити державний нормативний документ для урахування метанового потенціалу вугільних шахт та реалізувати науково-технічні проекти авторів, які включені в програму науково-технічного розвитку Донецької області до 2020 р.

**TESTING PERIODS OF A METHOD OF THE FORECAST INTEGRATED  
METHANE OF ABUNDANCE OF COLLIERIES**

Analytic and nature methods of calculation of methane potential of the collieries which check in the conditions of operating objects during 5 periods (1967 – 2009 years) has shown high reliability concerning of the method integrated methane of abundance of object IMA (~9 000 results) are developed. On the basis of this method it is offered to develop the state standard document for calculation of methane potential of collieries and to realize author's projects to be conclusion to the science-technical program of development of Donetsk region to 2020 year.

Отсутствие критериев для определения (прогноза) метаноносных свойств угля вызывал значительные затруднения в управлении метановыми потоками, формирующихся при ведении горных работ в разгружаемом от геостатического давления угленосном массиве. Нередко импульсные выделения метана достигают таких размеров, что их невозможно предусмотреть никакими коэффициентами неравномерности.

Но вот критерий найден! *Это интегральная метанообильность (ИМ) рассматриваемого объекта: выемочного участка (крыла, пласта, блока, шахты или группы шахт), которая не зависит ни от уровня добычи, ни от времени. ИМ отражает природный метановый потенциал данного объекта [1-3]. Его нетрудно подсчитать по результатам работы этого объекта в прошлом. Но чтобы определить структуру ИМ требуется специальный метод. Такой метод нами разработан. Это - **аналитический физико-химический метод определения интегральной метанообильности шахт ИМА\*** [3-6]. Метод позволяет выбрать надежные средства управления формированием и направлением метановых потоков в угленосном массиве. **Узда на угольный метан найдена! Осталось только ею воспользоваться.***

Экономическая целесообразность добычи угля предусматривает интенсивную отработку угольных пластов. Газовый фактор является одним из основных, которые сдерживают рост добычи угля. За предыдущие три года на высокопроизводительных шахтах России и Украины («Ульяновская», им. Засядько, «Красноармейская-Западная», «Краснолиманская», «Распадская») произошло несколько вспышек и взрывов метана, унесших жизнь более 300 шахтеров. На шахтах же Китая по этой причине гибнет несколько тысяч шахтеров ежегодно.

\*<sup>1</sup> Иван Михайлович Андреев (1879 – 1950) – горный инженер, который впервые в 1925 г. высказал идею об образовании метана в процессе разгрузки угля от геостатического давления, в том числе при его выемке.