

УДК 622.81

В.Г. Гринев<sup>1</sup>, Л.Д. Кузнецова<sup>2</sup>, Н.И. Волошина<sup>1</sup>, А.И. Сергиенко<sup>3</sup>,  
А.А. Подрухин<sup>1</sup>

## ИЗУЧЕНИЕ РЕСУРСОВ ШАХТНОГО МЕТАНА ЗАКРЫТЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

<sup>1</sup>Институт физики горных процессов НАН Украины

<sup>2</sup>ПО «Шахтной геологии и технического бурения»

<sup>3</sup>Красноармейский Индустриальный институт ДонНТУ

*Приведены результаты исследований газового потенциала отработанных горизонтов и вмещающих горных пород, выполнено моделирование накопления и миграции газа метана из выработанного пространства ликвидированных шахт. Описана версия модели накопления газа подработанного массива и процесса эмиссии метана на поверхность.*

**Ключевые слова:** закрытая шахта, метан, массоперенос, остаточная газоносность, выработанное пространство, свод обрушения, линеаментный анализ.

Исследование горных процессов, связанных с формированием скоплений техногенного метана закрытых шахт, является важной научной и прикладной задачей. Только в Донецкой области за последние 20 лет закрыто более чем 70 угольных шахт и еще более десятка шахт принадлежат к третьей группе, где проводятся работы по подготовке к ликвидации. В Украине нет опыта утилизации метана закрытых шахт, но, учитывая опыт других стран, можно ожидать, что исследования в этом направлении могут оказаться очень перспективными.

Результаты фундаментальных научных исследований метана угольных месторождений [1] позволили установить, что кинетика выхода метана из угля и породы непосредственным образом связана с его фазовым состоянием (свободный, сорбированный в порах, метан в «твердом растворе»), а реализуется массоперенос газа в условиях протекания двух физических процессов - фильтрации и диффузии. Характер суперпозиций этих двух механизмов отличается для разных марок угля и зависит от степени метаморфизма, влажности и других факторов. В зависимости от того, какой механизм является определяющим, можно прогнозировать скорость и время выхода метана из угля определенной марки.

Один из основных практических выводов таких исследований состоит в том, что на больших глубинах применение обычных технологий снижения метаносности угольных пластов, основанных на бурении и вакуумировании пластовых скважин, позволит извлечь только метан из открытой пористости (для Донбасса ~ 30 %). Поскольку массоперенос метана из блоков угольного вещества осуществляется за счет твердотельной диффузии, для извлечения основной части метана (~ 70 %) потребуется гораздо больше времени (годы) [2].

Метан закрытых угольных шахт в основном рассматривается как альтернативный источник энергии, поэтому задачи исследований такого метана ограничиваются вопросами его поиска и извлечения на базе существующих знаний о процессах, происходящих в пределах горного отвода закрытой шахты, в которых он участвует. В первую очередь это анализ остаточных ресурсов газа закрытых шахт с точки зрения возможности их извлечения с учетом растворения метана в воде, наличия природных и техногенных ловушек для образования скоплений свободного метана.

Для оценки ресурсов по метану закрытых шахт, включая период до реструктуризации угольной промышленности с 1996 г., была обработана геологическая информация по 114 угольным шахтам Донецкой области. Также были изучены и проанализированы характеристики ресурсов и запасов углеводородных газов и их каптажа на 27 разведочных участках пяти геолого-промышленных районов.

В перечень изучаемых показателей по шахтам входила следующая информация:

- глубина подсчета запасов метана, нижняя граница отработки, м;
- марка углей, газоносность углей, м<sup>3</sup>/т с.б.м.;
- относительная метанообильность шахты, м<sup>3</sup>/т с.д.;
- суточная добыча;
- количество метана (выделившегося в шахту, каптировано в дегазационную установку), тыс. м<sup>3</sup>/с;
- количество метана (выделившегося в шахту, каптировано в дегазационную установку), млн. м<sup>3</sup>/год.;
- количество использованного каптированного метана, млн. м<sup>3</sup>/год;
- эффективность дегазации, %;
- статус шахты в настоящее время;
- дата приема в реструктуризацию;
- дата завершения физической ликвидации.

Характеристики ресурсов метана на этих шахтах были представлены следующими показателями:

- объем углеводородных газов на шахтных полях, объединения (в углях рабочей мощности и нерабочей мощности и спутниках, породах), млрд. м<sup>3</sup>;
- суммарный объем углеводородных газов, млрд. м<sup>3</sup>;
- объем газов, извлекаемых дегазацией, млрд. м<sup>3</sup>/год;
- содержание метана в газовой смеси, %;

– коэффициент извлечения, %.

В данной работе рассматривается версия, что шахтный метан может накопиться в техногенных резервуарах, образовавшихся после формирования выработанного пространства от отработки всех рабочих угольных пластов горного отвода конкретной закрытой шахты. Обязательными условиями накопления метана являются его наличие в горном массиве, отсутствие возможности блокирования метана в массиве водой и отсутствие путей миграции газа к дневной поверхности.

Фактически в первую очередь для условий закрытых шахт были проведены аналитические поисково-оценочные работы на базе изучения и анализа имеющихся геологических материалов горных отводов этих шахт. С позиций перспективности горных отводов для извлечения техногенного метана было отобрано 16 закрытых шахт Донецкой области, из которых в качестве приоритетных объектов для изучения возможности извлечения метана были выбраны четыре шахты: «Харцызская», «13 бис», «Кировская» (ПО «Октябрьуголь»), им. Батова. Показатели по этим шахтам приведены в таблице.

В качестве источника информации для предварительной разведки шахтного метана на приоритетных четырех шахтах была изучена рабочая документация, которая включала четыре геологические карты, десять вертикальных разрезов, сводные нормальные стратиграфические разрезы с данными 250 скважин, планы горных работ по десяти угольным пластам, данные природной газоносности угля и физико-механических свойств угля и вмещающих пород, объемы метана в углях и угленосной толще.

Выполнена оценка ресурсной базы на изучаемых объектах на основе действующих отраслевых инструкций [3,4], в которых газ метан рассматривается как попутное полезное ископаемое, а основным источником его эмиссии служит вся угленосная толща кровли и почвы совместно с пластами-спутниками, попадающими в зону разгрузки от горного давления. Ниже приведен остаточный ресурс шахтного газа, который составил 15 – 22 % от геологических показателей объемов метана на действующих шахтах, а именно, эмиссионные запасы метана в подработанном массиве в млн. м<sup>3</sup> равны на шахтах: «Харцызская» – 546; «13 бис» – 130, «Кировская» (ПО «Октябрьуголь») – 969; им. Батова – 190.

Для адекватной интерпретации геологических данных, полученных на стадиях детальной разведки и доразведки разрабатываемых месторождений, при оценке оставшихся ресурсов метана на старых шахтных полях необходимо изучить процесс миграции метана из выработанного пространства закрытых шахт на земную поверхность.

Процесс, который специалисты называют миграцией метана из выработанного пространства закрытых шахт, фактически, по определениям нового Закона Украины о метане [5], является неконтролируемой эмиссией газа (метана) угольных месторождений в окружающую природную среду, хотя она и связана с хозяйственной деятельностью человека.

Таблица

Закрытые угольные шахты Донецкой области, перспективные на поиск метана

№ п/п	Наименование шахты, объединения	Марка угля/газоносность углей м <sup>3</sup> т.с.б.м	Глубина подбедра метана/нижняя граница отработки, м	Объемы метана в углях <sup>1</sup> в толще мпрдм <sup>3</sup>	Относительная метанообильность шахты, м <sup>3</sup> /т с.д.	Количество метана, млн. м <sup>3</sup> /год		Концентрация метана в смеси	Эффективность дегазации	Дата данных	Статус шахты	Прием в реструктуризацию	Завершение физической ликвидации
						Выдел. в шахту	Капитировано в легас-систему						
Донецк													
1	Им. газ. «Соц.Донбасс» (Запореальная №2)	ОС,Т/25-35	1319/1062	3,5\151,2	61,7	38,3	7,2	36	50	1985	закрытая в 2003г		
2	«Глубокая»	ОС,Т/30-40	1253/1200	3,2\12,3	74,3	27,7	5,7	35	30	1989	не эксп. с 2006г		
3	№9 «Капитальная»	ОС,Т/30-35	900/630	0,9\5,3	109,3	13,5	4	38	65	1985	проект на закрытие		
4	«Кировская»	Ж,К,ОС/25-30	1032/760		112,4	42,7	9,3	-	30	1989	закрытая в 2001г	07.01	
					84,2	9,3	-	1,2	-	1985	закрытая в 2002г	04.00	2000
Макеевка													
5	Им. Поченкова	Ж,К/25-30	1445/1128	3,7\73,0	80,2	43,4	15,8	35	49	1985	закрытая в 2001г	10.01	2006
6	«Октябрьская»	К,ОС/25-30	670/600	1,3\6,9	85	38	18,2	60	54	1989	закрытая	04.00	
7	Им. Батова	К,ОС/25-30	910/700	1,8\14,0	74,6	6,6	2,3	27	54	1985	закрытая в 2000г	04.00	2002
8	13 бис	Ж,К/25-30	850/764	8,0\33,0	55,6	13	3	16	24	1989	закрытая в 2000г		
9	«Красногвардейская»	Ж/20-25	1150/950	0,7\7,1	85	38	18,2	60	54	1989	закрытая в 2000г		
					38	19	21,1	43	48	1985	в эксплуатации		
					74	17,2	3,4	40	48	1989	закрытая	07.01	
					68,8	20	3,9	26	38	1985	закрытая		
					123,8	28,8	6,9	26	50	1989			
Торез													
10	№3 бис	А/35-40	700/450	2,7\8,1	139	28,4	20,5	30	50	1985	закрытая в 2006г	12.06	
11	«Объединенная»	А/35-40	610/374	1,2\4,0	194	26,9	5	37	19	1989	закрытая в 2001г	06.01	
12	№2 «Торезская»	А/20-25	440/400	0,1\1,5	106,2	11,8	11,8	-	40	1985	закрытая в 2000г	03.01	2001
13	«Харьцкая»	А/30	600/550	3,5\20,5	67,5	22,8	0,7	22	32	1989	закрытая в 2000г	10.96	1998
14	«Зуевская»	Т/30-35	761/533	0,6\3,1	101,3	77,2	69,6	70	60	1985	закрытая в 2005г	11.06	
					130,4	27,1	13,1	62	9	1989			
					21,8	28,4	2,4	18	8	1985			
					35,7	7,6	0,6	35	37	1985			
					128,6	43,4	6,9	29	37	1989			
Шахтерск													
15	60 лет ВОСР	Т/30-35	950/928	2,0\10,1	35,1	16,4	7,4	12	45	1985	в экспл	03.08	
16	«Кировская» (ПО «Октябрьуголь»)	Т/30-35	744/404	0,3\15,2	45,3	7,5	4,4	29	69	1989	Закрытая в 2002г	10.02	
					64,4	32	9	22	53	1989			

На данный момент в Украине прогнозирование миграции метана из выработанного пространства выполняется в соответствии с инструкцией [6]. Согласно используемым методикам, описанным в инструкции, весь объем газов, заполняющих выработанное пространство, при ликвидации (консервации) шахты «мокрым» способом будет вытеснен водой на земную поверхность через образовавшиеся трещины.

Основными путями миграции метана к дневной поверхности при этом являются:

- пласты трещиноватых водоносных или газоводоносных пород после их осушения горными работами (песчаники, известняки) при моноклином залегании на расстоянии от 35 до 150 мощностей обрабатываемого 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 геолого-разведочные скважины, пробуренные с поверхности.

На приоритетных объектах были изучены геологические карты и проведен расчет площадей проявления путей миграции метана на поверхность горных отводов закрытых шахт. На шахте «Харцызская» можно наблюдать миграцию метана по выходам трещиноватых песчаников и по разрывным геологическим нарушениям, на шахтах «13 бис» и «Кировская» (ПО «Октябрьуголь») - только по разрывным геологическим нарушениям. На шахте им. Батова известные пути миграции газа не наблюдаются.

В то же время ни одна из существующих методик контроля миграции шахтного газа на поверхность не предусматривает:

- изучение сводов обрушений пород на закрытых шахтах для выявления техногенных резервуаров для газа и возможности образования фильтрационной связи с земной поверхностью;
- учет геодинамического (зонально-блочного) строения горного массива, т.е. наличия в нем геодинамических зон, которые могут расцениваться как дополнительные естественные пути миграции метана к дневной поверхности.

В связи с этим возникла необходимость проведения дополнительных исследований влияния локальных геодинамических зон и деформации подработанных горных массивов на миграцию метана к дневной поверхности.

По аналогии с поиском известных путей миграции газа был проведен линейный анализ [7] изучаемых горных отводов. Анализ показал, что на всех приоритетных объектах наблюдается миграция метана к земной поверхности по геодинамическим зонам. Размер площадей проявления путей фильтрации шахтного метана на этих объектах изменяется в пределах от 0,24 млн. м<sup>2</sup> (ш. «13 бис») до 12,3 млн. м<sup>2</sup> (ш. «Харцызская»).

Рабочая модель для определения параметров обрушения породных слоев кровли слоистой структуры горного массива была построена согласно дан-

ным геологоразведочных скважин. Мощность слоев и тип пород учитывались в их геометрических и механических свойствах.

Для того, чтобы граничные условия модели не влияли на общий результат напряженно-деформированного состояния подработанного горного массива, размеры модели принимались следующие: высота – это глубина ведения очистных работ  $H$ ; длина – рассчитывалась согласно величине максимального размера выработанного пространства с учетом зон, не подвергшихся влиянию очистных работ.

В модели весь горный массив представлен породными слоями, отделенными друг от друга граничными условиями контакта, что позволяет породным слоям вести себя, как отдельный элемент, или объединяться в группы, т.е. взаимодействовать между собой. В пределах каждого породного слоя принимается упругая, однородная и изотропная среда. В целом весь горный массив представляется как дискретная и анизотропная среда. Решение задачи включает в себя: определение характера сдвижения пород кровли, закономерности взаимодействия породных слоев над выработанным пространством, определение опорного давления и величины первичных, вторичных и периодических посадок подработанного горного массива [8, 9].

В процессе ведения очистных работ в результате изменения напряженно-деформированного состояния породных слоев кровли горный массив приходит в сдвижение, что сопровождается обрушением и зависанием породных слоев кровли. Изменение напряженного состояния горного массива связано с выемкой угольных пластов, то есть с увеличением выработанного пространства, а также с обрушениями породных слоев. Динамика изменения напряжений в процессе подвигания очистного забоя приводит систему в состояние неустойчивости, что сопровождается расслоением, группированием и обрушением породных слоев кровли. Зависая над выработанным пространством, породные слои создают дополнительные напряжения (зоны «опорного давления» впереди очистного забоя и на контактах породных слоев). Перераспределение напряжений влияет на процесс обрушения пород кровли, который происходит до тех пор, пока массив не придет в устойчивое состояние. Обрушенные слои уже не будут влиять на напряженное состояние горного массива [9].

В результате физико-механических процессов в горном массиве над выработанным пространством образуется «купол обрушения» и свод сдвижения, а его параметры в основном зависят от глубины ведения очистных работ, размеров выработанного пространства и физико-механических свойств горных пород.

Математическое моделирование образования сводов сдвижения подработанного слоистого массива на рассматриваемых объектах позволило выявить места техногенных полостей и места возможных путей фильтрации газа в атмосферу. Так, на шахте «Харцызская» глубина залегания куполов сдвижения горного массива в районе очистных работ изменяется от 118 до 383 м, а в районе скважин № х508 и х509 от работы лав 20, 24, 28 свод обрушения дошел до земной поверхности. На шахте «13 бис» свод обрушения

дошел до поверхности в районе скважины 2126 от работы коренной и 2-ой восточной лав. В целом глубина свода обрушения изменяется от 134 до 247 м. На шахтах «Кировская» и им. Батова купола обрушений пород не достигают поверхности, а их глубина равна соответственно 101–388 м и 165–420 м.

Таким образом, на закрытых шахтах, принятых в качестве приоритетных изучаемых объектов, были найдены контуры участков, которые являются перспективными для локализации техногенного метана площадями и в пределах которых отсутствуют пути миграции неконтролируемой эмиссии газа, территории влияния геодинамических зон и техногенная фильтрационная связь с земной поверхностью.

Алгоритм проведения комплексных исследований горных процессов геомеханики, дегазации и перераспределения шахтного газа в пределах перспективных горных отводов составил основу структуры модели накопления газа в подработанном массиве и процесса эмиссии метана на поверхность для расчета остаточных ресурсов метана в старых выработанных пространствах.

Версия модели накопления газа в подработанном массиве закрытой шахты включает предположения, что остаточный ресурс по метану этой шахты равен разнице между оставшимися геологическими ресурсами газа после отработки угольных пластов и эмиссионным ресурсом метана, который по различным фильтрационным каналам мигрирует к дневной поверхности. Структура модели представлена на рисунке.

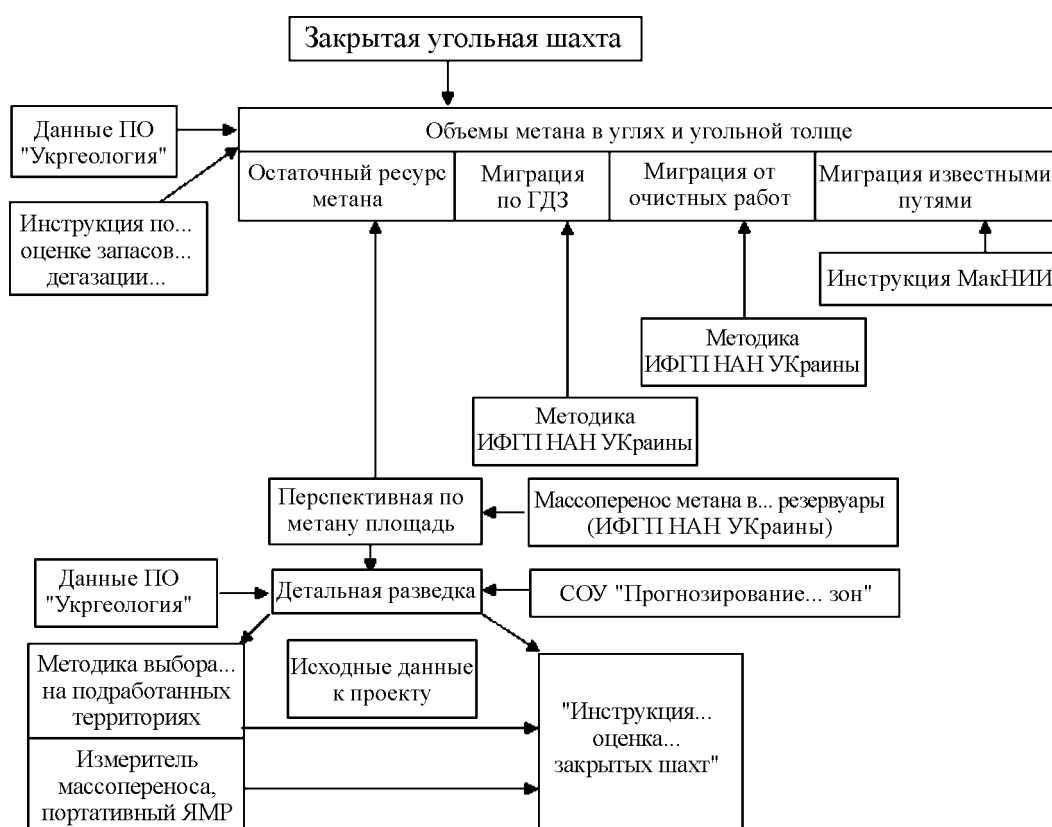


Рис. Модель накопления газа в подработанном массиве закрытой шахты

Виконана таким чином попередня розвідка родовищ шахтного метану закритих шахт дала можливість зробити висновок про доцільність продовження вивчення об'єктів у форматі порівняльної детальної розвідки з урахуванням інформації по відомих геологічним скважинам, які розташовані в межах перспективних по метану площей горних відводів розроблюваних шахт.

1. Алексеев А.Д. Физика угля и горных процессов [Текст] / Алексеев А.Д. – Киев: Наукова думка, 2010.
2. Гринев В.Г. Обоснование безопасных технологических параметров выемки угля на углегазовых месторождениях [Текст] / Гринев В.Г., Стариков Г.П., Николаев П.П., Дегтярь С.Е. // Матеріали II міжн. конф. «Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання». – Днепропетровск, 2011. – С. 24–30.
3. Методическое руководство по оценке ресурсов углеводородных газов угольных месторождений как попутного полезного ископаемого [Текст] / М.: Мингео СССР, 1988. – 107 с.
4. Инструкция по применению Классификации запасов и ресурсов полезных ископаемых государственного фонда недр к геолого-экономической оценке общих (эмиссионных) и добывающих запасов шахтного метана углегазовых месторождений в зонах сопутствующей технологически необходимой дегазации во время разработки угольных пластов [Текст] / Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых. Приказ. Инструкция от 07.11.2008 № 523 действует с 23.01.2009.
5. Закон України «Про газ (метан) вугільних родовищ» від 21 травня 2009 року за №1392-VI.
6. Защита зданий от проникновения метана [Текст] / Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 2001. – 61 с.
7. Гринев В.Г. Совершенствование методики прогнозирования миграции метана на дневную поверхность из горных выработок [Текст] / В.Г. Гринев, А.А. Подрухин // Фізико-технічні проблеми горного виробництва, ИФГП НАНУ. – Донецк, 2005. – № 8.
8. Сергієнко О.І. Геомеханічне обґрунтування параметрів обвалення важкокеріваної покрівлі в лавах пологих пластів Донбасу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.15.02 «Підземна розробка родовищ корисних копалин» [Текст] / О.І. Сергієнко. – Донецьк, 2009.
9. Лобков Н.И. Физико-механическая модель слоистой структуры горного массива [Текст] / Н.И. Лобков, А.И. Сергиенко, Л.В. Сергиенко, П.И. Поляков // Проблеми гірничої технології, Красноармійський Індустріальний інститут ДонНТУ, 26 листопада 2010 р. – Донецьк, 2010. – С. 26–34.



*В.Г. Грінюв, Л.Д. Кузнецова, Н.І. Волошина, О.І. Сергієнко, О.О. Подрухін*

### **ВИВЧЕННЯ РЕСУРСІВ ШАХТНОГО МЕТАНУ ЗАКРИТИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ДОНЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ**

Наведено результати досліджень газового потенціалу відпрацьованих горизонтів і вміщуючих гірських порід, виконано моделювання накопичення та міграції газу метану з виробленого простору ліквідованих шахт. Описана версія моделі накопичення газу підробленого масиву і процесу емісії метану на поверхню.

*V. Grinyov, L.D. Kuznetsova, N.I. Voloshina, A.I. Sergienko, A.A. Podruchin*

### **THE STUDY OF COAL MINE METHANE RESOURCES FROM ABANDONED COAL MINES OF DONETSK REGION**

The researches of the waste horizons gas potential and enclosing breeds carried out modelling of accumulation and migration of methane gas from the developed space of liquidated mines are resulted. Describes the version of the model of gas accumulation in the worked out rock massif and the process of methane emission to the surface.