

УДК 622.411.332

Бокий Б.В., д-р. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ПАО «Шахта им. А.Ф. Зясядько»),

Дудля Е.Е., аспирант
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ МЕТАНА НА ПАО «ШАХТА ИМ. А.Ф. ЗАСЯДЬКО» ПОВЕРХНОСТНЫМИ СКВАЖИНАМИ

Бокій Б.В., д-р. техн. наук, ст. наук. співр.
(ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Зясядька»),

Дудля К.Є., аспірант
(Державний ВНЗ «НГУ»)

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИДОБУТКУ МЕТАНУ НА ПАТ «ШАХТА ІМ. О.Ф. ЗАСЯДЬКА» ПОВЕРХНЕВИМИ СВЕРДЛОВИНАМИ

Bokiy B.V., D. Sc. (Tech.), Senior Researcher
(PJSC "A.F. Zyasyadko Mine"),

Dudlya Ye.Ye., Doctoral Student
(SHEI «NMU»)

EVALUATION OF EFFICIENCY OF METHANE EXTRACTION IN PJSC “THE A.F. ZASYADKO MINE” BY SURFACE HOLES

Аннотация. Наведены основные данные о запасах твёрдого топлива, в том числе одного из самых перспективных, потенциальных источников углеводородного сырья – шахтного метана, причинах его ограниченного применения в Украине.

Рассмотрены вопросы добычи метана угольных месторождений скважинами, пробуренными с поверхности, условия миграции метана к скважинам – нарушение сорбционного равновесия и увеличение проницаемости углепородного массива с учётом смещения пород, вызванного выемкой угольных пластов, современные способы воздействия на угольные пласты и газонасыщенные породы, условия выбора места заложения дегазационных скважин на шахте им. А.Ф. Зясядько, их конструкцию и расположение забоев относительно зоны полной разгрузки от горного давления, а также определены причины неудовлетворительной работы отдельных дегазационных скважин.

Выполнен анализ горно-геологических условий бурения скважин, определены зоны частичного и полного сдвижения горных пород кровли, а также наибольшего метановыделения из подработанных угольных пластов и пород.

Ключевые слова: шахтный метан, дегазационная скважина, каптаж, дебит, пласт.

Украина обладает огромными запасами твердого топлива – угля, разведанные запасы которого составляют 46,5 млрд. т., а общие ресурсы – 117,5 млрд. т. Каждая тонна угля в зависимости от марочного состава содержит от 5 до 40 м³ метана. Специалисты оценивают общие ресурсы метаноугольных месторождений в 1,2 трлн. м³, а с учётом газа в породах, эта цифра достигает 25 трлн. м³.

Шахтный метан – один из наиболее изученных видов нетрадиционных

источников углеводородного сырья. Однако его использование в Украине имеет пока лишь ограниченный характер из-за непостоянного состава (теплоты сгорания), невысокого и нестабильного дебита, повышенного содержания воздуха, влаги и пыли. Большинство этих отрицательных свойств шахтного метана, из-за которых он значительно проигрывает природному газу, вызвано низкой эффективностью технологий его добычи, используемых в Украине.

На Донбассе добычей метана поверхностными скважинами занимались практически 15 шахт, которые за счет собственных средств выполняли «Государственную программу развития минерально-сырьевой базы Украины на период до 2016 г.» (Постановление Кабинета Министров №1463 от 27 сентября 2000 г.)

Извлечение метана из угля возможно при условии нарушения сорбционного равновесия и увеличения проницаемости углепородного массива, по которому газ движется к скважинам.

С этой целью применяют различные способы воздействия на угольные пласты и газонасыщенные породы (гидроразрыв, гидрорасчленение, физико-химическое воздействие) [3,4]. Наибольший эффект достигается тогда, когда в процессе опускания пород над выработанным пространством формируется система трещин, уменьшается давление газа в порах, вызывая десорбцию. Образуется свободный метан, проникающий по трещинам в горные выработки и скважины. В этих условиях задача заключается в определении параметров и режимов работы скважин, обеспечивающих максимальное извлечение метана.

Смещение пород, вызванное выемкой угольных пластов, распространяется до земной поверхности. Однако опускание её составляет около 80% извлеченного объема пород. Следовательно, в подработанном массиве остается определенный объем в виде трещин и полостей, которые в большинстве случаев заполнены свободным метаном и водой. При наличии каналов, связывающих эти полости с земной поверхностью, метан может выделяться длительное время, создавая опасность газификации зданий и сооружений. Каптаж его скважинами – одна из мер предотвращения такой опасности и источник получения высококалорийного энергоносителя.

Анализ накопленного опыта извлечения метана из угольных месторождений с целью обеспечения безопасности их разработки и жизнедеятельности людей на подрабатываемых шахтами территориях позволяет выбрать перспективные районы и способы добычи газа, которые не только уменьшают газовую опасность горных работ, но и в какой-то мере компенсируют недостаток энергоносителей.

Важным элементом технологической схемы извлечения метана угольных месторождений являются дегазационные скважины. Дебит их зависит от горно-геологических условий и их расположения в поперечном сечении лавы относительно подготовительных выработок и существенно изменяется во времени.

На шахте им. А.Ф. Засядько дегазация скважинами, пробуренными с поверхности, применяется около тридцати лет [1,5]. Глубину скважины следует

выбирать так, чтобы расстояние проекции её забоя на разрабатываемый пласт от штрека, примыкающего к угольному массиву, с учетом искривления находилось в интервале

$$h_c (\operatorname{ctg} \psi - \operatorname{tg} \alpha) \frac{1}{\cos \alpha} \geq 0,7 \cdot l_{oc},$$

где h_c - расстояние до дегазируемого источника метана, наиболее удаленного от разрабатываемого пласта, м. Оно не должно превышать величины $h_c \geq 0,7 \cdot l_{oc}$; l_{oc} - длина очистного забоя, м; α - угол залегания разрабатываемого пласта, град.; ψ - угол полных сдвижений пород кровли, при наличии мощных слоев песчаника, принимается равным 45° .

Первую и последнюю дегазационные скважины на выемочном поле следует располагать не ближе 200 м от монтажной камеры и места планируемой остановки лавы.

Учитывая большой производственный опыт бурения дегазационных скважин на шахте им. А.Ф. Засядько, и полученные результаты можно утверждать, что расстояние между забоем скважины и кровлей разрабатываемого пласта должно быть не более 5-8 его вынимаемых мощностей, а конечный диаметр бурения скважины – не менее 100 мм. От диаметра эксплуатационной колонны зависит избыточное давление газа в скважине, поэтому его желательно иметь большим. Однако, учитывая глубину скважин и высокую стоимость их сооружения, можно ограничиться диаметром 108 – 127 мм.

Нами выполнен анализ технической документации 17 скважин, пробуренных с поверхности для дегазации девяти лав, разрабатывающих пласт m_3 (табл.1).

Горно-геологические условия этих лав примерно одинаковы, однако, параметры бурения и конструкция скважин существенно отличаются. Так диаметры эксплуатационных колонн находятся в пределах от 108 до 127 мм, диаметры газоприемных частей скважин, обсаженных перфорированными трубами или незакрепленных, – от 73 до 93 мм, длины газоприемных частей – от 180 до 600 м.

Исследованиями установлено [1,2], что наибольшее метановыделение из подработанных угольных пластов и пород происходит из их части, попадающей в зону разгрузки от горного давления. Эта зона ограничивается углами полного сдвижения пород кровли, отсчитываемыми от плоскости разрабатываемого пласта. Выше неё происходит лишь частичная разгрузка угольных пластов, поэтому процесс десорбции метана происходит медленно, выход газа затрудняется давлением воды, заполняющей скважину. Основными источниками газа, попадающими в зону разгрузки, являются угольные пласты, а также газоносный песчаник.

Пласт m_3 расположен в зоне большой трещиноватости пород. Он имеет хорошую аэродинамическую связь с выработанным пространством, избыточное давление газа здесь мало и, если скважина заполнена водой, то выделение газа не происходит. Слой песчаника, мощность которого достигает 50 м, задержива-

ет сдвигение горных пород.

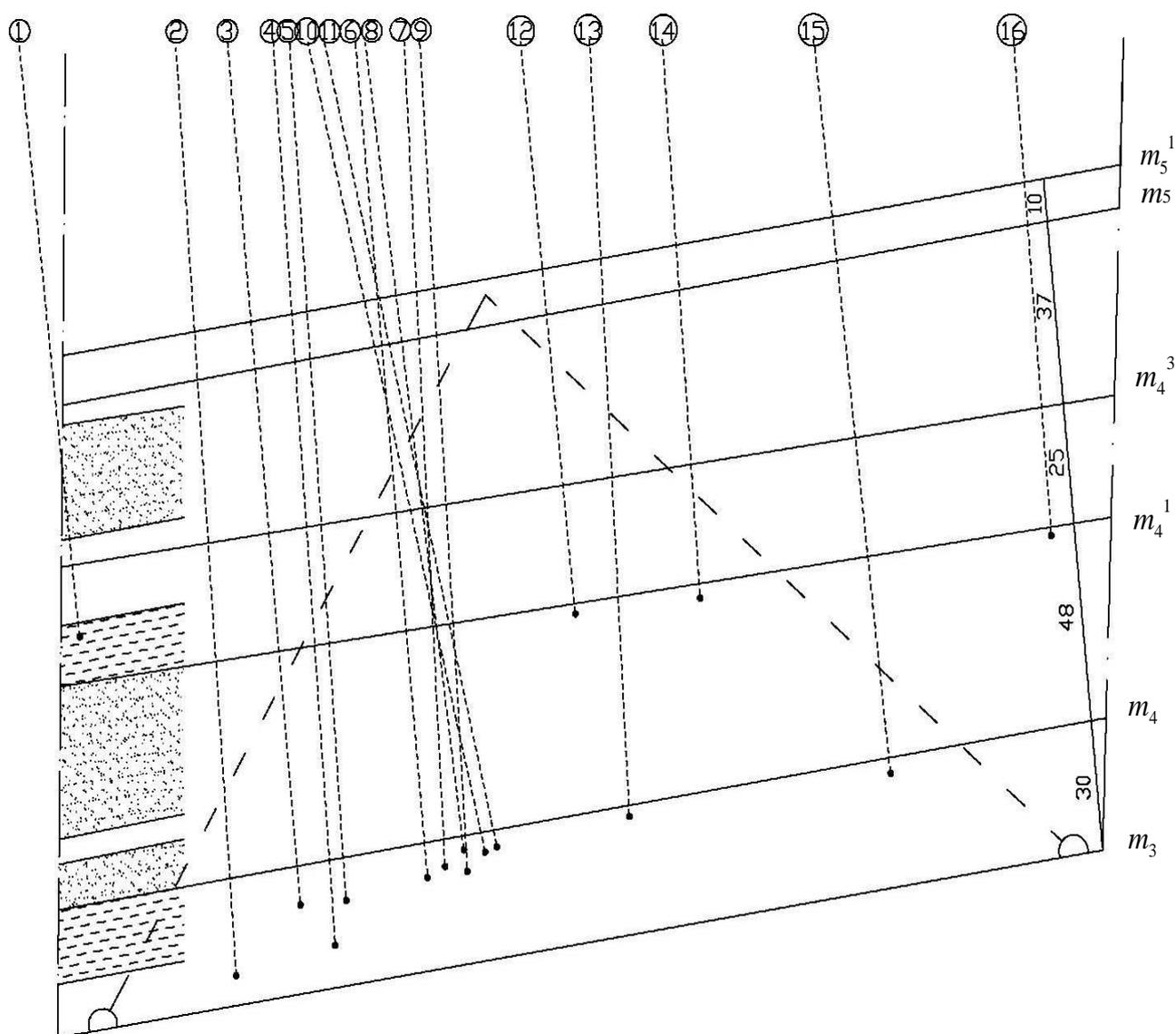
Таблица 1 - Конструкция скважин, пробуренных с поверхности, для дегазации лав пласта m_3

Лавы	Номер скважины	Эксплуатационная колона		Газоприемная часть скважины		Сумма проекций скважин, м		Глубина скважины, м
		Диаметр, мм	Интервал, м	Диаметр, мм	Интервал, м	Горизонтальных	Вертикальных	
8-я восточная	1744	108	0-765	93	765-805	59	802	805
11-я восточная	210	108	0-410	93	410-925	70	900	925
	213	127	0-415	93	415-930	100	926	930
12-я восточная	209	127	0-390	93	390-990	90	981	990
	264	108	0-820	89	820-1040	75	1036	1040
	284	108	0-820	89	822-1000	120	1090	1100
13-я восточная	302	108	0-892	89	892-1075	61	1072	1075
	310	114	0-185	89	794-1014	75	1111	1115
14-я восточная	317	127	0-691	89	691-1010	112	1128	1136
	320	127	0-855	89	907-1153	140	1155	1160
15-я восточная	323	127	0-878	89	1117-1227	92	1222	1227
	327	127	1005	108	1005-1210	79	1207	1210
11-я западная	229	108	0-830	73	830-1101	102	1093	1101
	241	108	0-810	73	810-1100	137	1084	1100
	249	108	0-808	73	808-1104	130	1094	1104
10-я западная	211	127	0-460	93	460-1050	85	1046	1050
12-я западная	286	127	0-608	89	904-1160	90	1155	1160

На контактах угольных пластов с породными слоями образуются расслоения, заполняющиеся метаном под высоким давлением, достаточным для выброса воды из скважины. При этом давление газа в скважине падает, а скорость движения возрастает. Газовый поток срывает со стенок воду, движущуюся ему навстречу, взвешенные в газе крупные капли воды постепенно накапливаются, увеличивая сопротивление выходу газа на поверхность, пока возрастающее давление газа не превысит давление воды, и она в очередной раз не будет выброшена из скважины. Периодические выбросы воды продолжаются, пока не будут осушены породы, примыкающие к газоприемной части скважины. Если, при этом скважина имеет связь с выработанным пространством, то часть газа проходит по ней в выработки, увеличивая их метанообильность. Продолжительность этого процесса увеличивается в связи с большой длиной газоприем-

ных частей скважин, которые дренировали воду из большого объема пород. Кроме этого, большинство скважин бурили при полном поглощении промывочной жидкости. При бурении только газоприемных частей скважин в окружающие породы закачивалось до 2000 м^3 воды.

Для анализа причин неэффективной работы скважин рассмотрим их положение в поперечном сечении лавы относительно разрабатываемого пласта и подготовительных выработок. Из 17 скважин, принятых к анализу, пять не работали (29%). По расположению забоев относительно зоны полной разгрузки пород от горного давления скважины можно разделить на три группы (табл. 2). В первую входят скважины, которые пересекают пласт m_4^1 за пределами зоны полной разгрузки (см.рис. 1).



№п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
№скв.	317	323	211	302	209	213	210	310	320	249	229	286	241	264	284	1744

Рисунок 1 - Расположение дегазационных скважин

Таблица 2 - Зависимость метанодобываемости скважин, пробуренных с поверхности, от положения их забоев над пластом m₃

Группы скважин	№ п/п	Номер скважины	Глубина, м		Расстояние забоя скважины, м		Газоприемная часть скважины		Суммарная мощность дегазируемых		Выбросы воды	Объем извлеченного метана, млн. м ³	Время работы скважины, сут.	Средний дебит, м ³ /сут	Примечание
			скважины	пласта m ₃	от пл. m ₃	от нижнего штрека	диаметр, мм	длина, м	угльных пластов	песчанников					
1	1	317	1128	1186	58	10	889	340	1,65	1,41	-	Не работала			
	2	323	1222	1229	7	35	89	110	0,7	70	-	"			
	3	211	1046	1090	44	47	93	590	4	167	-	"			Не обсажена
	4	302 ^b	1072	1098	26	55	89	183	1,9	85	-	"			
2	5	209	984	1059	75	60	93	600	1,9	80	-	"			
	6	213	926	1002	76	80	93	515	3	116	+	0,51	562	907	Не обсажена
	7	210	920	994	74	84	93	515	4	99	+	0,5	500	1000	Не обсажена
	8	310	1111	1131	20	90	89	220	2,6	124	+	Нет данных			
3	9	320	1160	1185	25	90	89	240	2	99	+	"			КГНС
	10	249	1094	1126	32	96	73	296	3,7	108	+	0,89	329	2690	
	11	229	1093	1114	21	100	73	271	2	124	+	1,24	791	1570	
	12	286	1116	1136	22	125	89	256	2,1	108	+	1,3	400	3250	
	13	241	1140	1164	24	139	73	290	2,3	130	+	1,57	583	2693	
	14	264	1036	1067	31	153	89	220	1,1	50	+	3,87	263	14690	
	15	284	1090	1116	26	195	89	180	2,2	77	+	4	1240	3230	
	16	1744	802	822	20	236	93	230	3,6	100	+	7,6	736	10400	
4	17	327 ^b	1207	1220	13	55	108	205	1,9	85	-				КГНС

Они входят в эту зону близко от выработанного пространства, где нет большого давления газа, достаточного для преодоления давления воды, заполняющей скважины. Из этих скважин не выбрасывалась вода и не выделялся газ.

Во вторую группу входят скважины, пересекающие пласт m_4 в зоне разгрузки, но их забои находятся на расстоянии 74-76 м от выработанного пространства, где трещиноватость пород низка и приток воды в скважины превышает темпы её дренирования. Положение усугубляется большой длиной газоприемных частей скважин, которые были оставлены незакрепленными на длине 515 м. Эти скважины оставались заполненными водой. Выход газа из них сопровождался периодическими выбросами воды.

Третья группа скважин пересекает все дегазируемые источники метана в зоне полной разгрузки пород от горного давления. Забои их находятся на расстоянии 25 – 30 м от кровли пласта m_3 . Породы, отделяющие скважины от выработанного пространства, состоят из слоя слабого, легко уплотняющегося глинистого сланца мощностью 15 – 25 м и слоя песчаного сланца примерно такой же мощности. Проницаемость их оказалась недостаточной для осушения скважин, особенно тех, при бурении которых происходило полное поглощение воды и в породы, окружающие газоприёмные части, закачивалось дополнительно около 2000 м³ воды (скважины № 310, 320, 349, 229, 286, 241). Дебит и объем метана, извлеченного этими скважинами, в 2-3 раза меньше, чем эти показатели для скважин №264 и 284 (см.табл.2), в которых при бурении газоприемных частей поглощения воды не было. Наибольшее количество метана извлечено скважиной №1744, через которую произвели гидроразрыв песчаника и угольных пластов, а затем около трех лет откачивали газ вместе с водой.

К четвертой группе относится одна скважина №327, отличающаяся от скважин второй группы только расстоянием между её забоем и кровлей разрабатываемого пласта. Оно уменьшено до 10 м. Это обеспечило хорошую гидродинамическую связь скважины с выработанным пространством и осушение её до того, как произойдет разгрузка газоносного песчаника m_4S m_4 и угольных пластов, расположенных выше него. Вода не мешала выходу газа на поверхность. Дебит его достигал 38900 м³/сут., что в 2,6 раза превышает максимальный в скважинах третьей группы.

Выводы.

1. Причинами неудовлетворительной работы дегазационных скважин являются: несоответствие существующим требованиям расположения газоприемных частей относительно дегазируемых источников, в результате чего они пересекают пласты в зонах, неразгруженных от горного давления; большие расстояния между забоями скважин и разрабатываемым пластом, в результате чего отсутствует возможность осушения скважин до разгрузки дегазируемых пластов; неоправданно большая длина газоприёмных частей скважин, что увеличивает приток воды в них, не оказывая существенного влияния на приток метана.

2. Максимальные дебиты и объемы метана, извлекаемого скважинами, пробуренными с поверхности, наблюдаются при наличии в кровле разрабатываемого

мого пласта, помимо угольных пластов, мощных слоев газоносных песчаников.

3. Опыт извлечения метана из подрабатываемых угольных пластов и пород скважинами, пробуренными с поверхности, показывает, что при современных ценах на сооружение скважин и природный газ добыча и использование метана угольных месторождений экономически оправданы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звягильский, Е.Л. Добыча метана из угольных месторождений Донбасса (Обзор) / Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий, О.И. Касимов. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2011. – 150 с.
2. Печук, И.М. Проникновение газов по трещиноватым породам в помещения и выработки / И.М. Печук. – К., АН УССР, 1962. – 112с.
3. Иофис, М.А. Инженерная механика при подземных разработках / М.А. Иофис, А.И. Шмелев. – М.: Недра, 1985. – 248с.
4. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. СОУ 10.1 00174088.001 – 2004 – Киев: Минуглепром Украины, 2004. – 162 с. (Нормативный документ Минуглепрома Украины. Стандарт).
5. Проветривание и газовый режим шахты им. А.Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования / Е.Л. Звягильский, А.Ф. Булат, И.А. Ефремов [и др.]. – Донецк-Днепропетровск, 2002. – 197 с.

REFERENCES

1. Zvyagilskiy, Ye.L., Bokiyy, B.V. and Kasimov, O.I. (2011), *Dobycha metana iz ugolnykh mestorozhdeniy Donbassa (obzor)* [Methane extraction from Donbas coal deposits (Overview)], Publishing house «Knowledge» (Donetsk division), Donetsk, Ukraine.
2. Pechyuk, I.M. (1962), *Proniknovenie gazov po treshchinovatykh porodam v pomeshcheniya i vyrabotki* [Gas penetration to the workings along the fissured rocks], AN USSR, Kiev, SUP.
3. Iofis, M.A. and Shmelev, A.I. (1985), *Inzhenernaya mekhanika pri podzemnykh razrabotkakh* [Underground mechanical engineering], Nedra, Moscow, USSR.
4. Minugleprom Ukrainy (2004), *SOU 10.1 00174088.001 – 2004: Degazatsiya ugolnykh shakht. Trebovaniya k sposobam i skhemy degazatsii* [SOU 10.1 00174088.001 – 2004: Coal mine degasation. Requirements to the methods and degasation diagrams], Kiev, Ukraine.
5. Zvyagilskiy, Ye.L., Bulat, A.F., Efremov, I.A., Bokiyy, B.V., Bunko, T.V. and Kokoulin, I.Ye. (2002), *Provetrivaniye i gazovyy rezhim shakhty im. A.F. Zasyadko: sostoyaniye i puti sovershenstvovaniya* [Ventilation and gas mode of A.F. Zasyad'ko mine: state and ways of perfection], Donetsk-Dnepropetrovsk, Ukraine.

Об авторах

Бокий Борис Всеволодович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заместитель генерального директора, Публичное акционерное общество «Шахта им. А.Ф. Засядько» (ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»), Донецк, Украина, dsn1609@ua.fm.

Дудля Екатерина Евгеньевна, аспирант кафедры «Транспортных систем и технологий», Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина, dsn1609@ua.fm.

About the authors

Bokiyy Boris Vsevolodovich, Doctor of Technical Science (D.Sc.), Senior Researcher, Deputy Director General, Public Joint Stock Company "A.F. Zasyadko Mine" (PJSC "A.F. Zasyadko Mine"), Donetsk, Ukraine, dsn1609@ua.fm.

Dudlya Katherine Yevgenievna, Doctoral student of the transport system and technology department, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine, dsn1609@ua.fm.

Анотація. Наведено основні дані про запаси твердого палива, у тому числі одного з найперспективніших, потенційних джерел вуглеводневої сировини – шахтного метану, причини

його обмеженого застосування в Україні.

Розглянуто питання видобутку метану вугільних родовищ свердловинами, пробуреними з поверхні, умови міграції метану до свердловин - порушення сорбційної рівноваги і збільшення проникності вуглепородного масиву з урахуванням зміщення порід, викликаного виїмкою вугільних пластів, сучасні способи впливу на вугільні пласти і газонасичені породи, умови вибору місця закладення дегазаційних свердловин на шахті ім. О.Ф. Засядька, їх конструкцію і розташування вибоїв щодо зони повного розвантаження від гірського тиску, а також визначені причини незадовільної роботи окремих дегазаційних свердловин.

Виконано аналіз гірничо-геологічних умов буріння свердловин, визначено зони часткового та повного зрушення гірських порід покрівлі, а також найбільшого метановиділення з підроблених вугільних пластів і порід.

Ключові слова: шахтний метан, дегазаційна свердловина, каптаж, дебіт, пласт.

Abstract. Basic data concerning solid fuel as well as the most promising and potentially source of hydrocarbon material - coalmine methane and the reasons of its limited application in Ukraine are given.

Problems of methane extraction within coal deposits by the wells drilled from the surface, conditions of methane migration to the wells – disturbance of sorption equilibrium and increase of permeability of coal massif taking into account rock shifting due to coal seam mining, modern methods of influencing on coal seams and gas-saturated rocks, conditions of the place of degassing wells location at the mine named after A.F.Zasyadko, their construction and face location as for the area of complete unloading against rock pressure are considered. The reasons of unsatisfactory operation of separate degassing wells are determined.

Analysis of mining and geological conditions of well drilling is performed. Areas of local and complete rock shifting as well as maximal methane emission from underworked coal seams and rocks are determined.

Keywords: coalmine methane, degassing well, captation, debit, seam.

Статья поступила в редакцию 05.11.2015

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Бунько Т.В.