

УДК 622.411.33



Н. И. АНТОЩЕНКО,
доктор техн. наук
(Донбасский ГТУ)



С. И. КУЛАКОВА,
аспирант
(Донбасский ГТУ)



М. В. ФИЛАТЬЕВ,
аспирант
(Донбасский ГТУ)

Прогноз газовыделения из подрабатываемых угольных пластов

Представлен новый способ прогноза газовыделения из подрабатываемых угольных пластов, учитывающий параметры развития очистных работ, процессы сдвижения подработанных пород и десорбцию метана из угля сближенных пластов. Способ позволяет прогнозировать динамику метановыделения и объемы газа, выделившегося из каждого подрабатываемого пласта в начальный период эксплуатации выемочных участков.

Практика отработки газоносных угольных пластов показала некоторые несоответствия научных положений прогноза метановыделения, принятых в основу ДНАОТ 1.1.30-6.09.93 [1]. В частности, существенна разница между расчетными и фактическими значениями остаточной газоносности угля подработанных пластов [2], а также противоречивость получаемых результатов. Например, расчетное значение предельного расстояния от разрабатываемого пласта H_p , в пределах которого газ еще выделяется из сближенных пластов, превышает в ряде случаев глубину ведения горных работ [3]. Основное метановыделение при эксплуатации выемочных участков (до 70 – 90 %), как правило, происходит из подрабатываемых пластов и пород [2]. Для разработки эффективных мероприятий безопасного ведения горных работ необходимо достоверно знать уровень газовыделения из каждого подрабатываемого угольного пласта.

Известно несколько методик [1, 4 – 6] распределения общего количества газа, выделившегося из выработанного пространства, между сближенными пластами. Общие подходы к определению доли газовыделения из рассматриваемых источников или степени их дегазации принципиально не отличаются между собой. Получаемые согласно этим методикам результаты, как показал сравнительный анализ, не соответствуют экспериментальным данным, характеризующим долю газовыделения из сближенных пластов [3]. Учитывая современное состояние рассматриваемых вопросов и их важность для создания безопасных условий эксплуатации выемочных участков, разработка принципиально нового способа прогноза газовыделения из сближенных угольных пластов актуальна.

Рассмотрим параметры динамики метановыделения из подрабатываемых угольных пластов и пород в дегазационные скважины, установленные экспериментально в шахтных условиях, с процессами развития очистных работ, сдвижения подработанных пород и десорбции газа из разгруженных от горного давления зон.

Основные принципы предлагаемого способа разработаны на базе научных положений и экспериментальных данных о параметрах сдвижения пород и о газо-

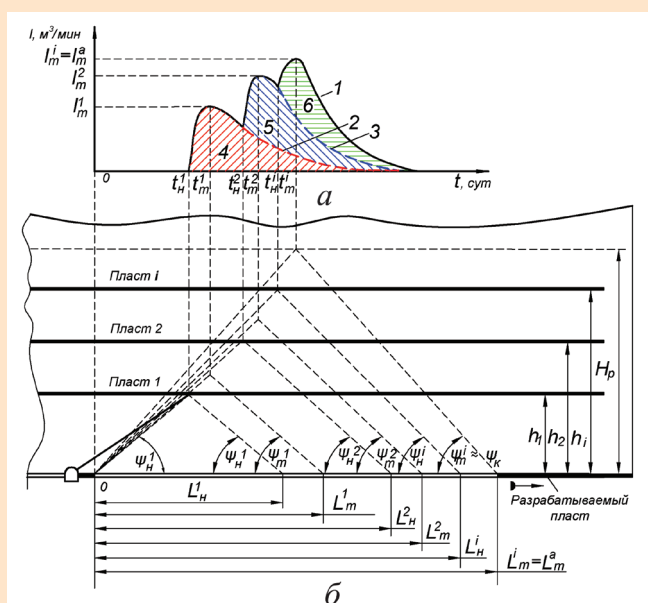


Рис. 1. График динамики газовыделения в скважины (а) во времени t , совмещенный со схемой развития очистных работ на выемочном участке и параметрами сдвижения подработанных пород (б): 1 – экспериментальная кривая динамики газовыделения; 2 и 3 – экстраполируемые кривые десорбции газовыделения из угля первого и второго сближенных пластов на стадии затухания процессов; 4, 5 и 6 – площади фигур, характеризующие количество газа, выделившегося из первого, второго и i -го сближенных пластов; $t_n^1, t_m^1, \dots, t_n^i, t_m^i$ – период между началом очистных работ и газовыделением в скважины из первого, второго и i -го сближенных пластов; $t_m^1, t_m^2, \dots, t_m^i$ – период между началом очистных работ и достижением максимума газовыделения из одного, двух и суммы i -х подработанных пластов; \blackrightarrow – направление подвигания очистного забоя.

выделении в скважины, пробуренные над разрезными выработками [7, 8]. Способ реализуется следующим образом. Согласно шахтным наблюдениям определяются взаимозависимые параметры, характеризующие кривую динамики газовыделения 1 и степень развития очистных работ (рис. 1).

Первым экспериментально определяемым параметром является расстояние между разрезной выработкой и очистным забоем L_N^1 , при котором начинается газовыделение из первого сближенного пласта в скважины. Начало газовыделения подтверждает, что сдвижение подработанных пород распространилось до первого подработываемого пласта. Зная расстояние h_1 до этого сближенного пласта от разрабатываемого и L_N^1 из геометрических построений можно определить угол разгрузки

ψ_H^1 . Он соответствует началу газовыделения из первого сближенного пласта в скважины.

Рост газовыделения и достижение его первого локального максимума I_m^1 (индексом m обозначено сокращение слова максимум) свидетельствует об увеличении количества угля первого подработанного пласта, попадающего в разгруженную зону вследствие дальнейшего удаления от разрезной выработки очистного забоя на расстояние L_m^1 и росте угла разгрузки до значения ψ_m^1 , характеризующих достижение максимума газовыделения из первого подработанного пласта. Интенсивность роста газовыделения на этой стадии определяется процессами сдвижения пород под влиянием подвигания очистного забоя. После достижения первого локального максимума газовыделение снижается. Это обусловлено тем, что в разгруженную от горного давления зону не попадают новые источники газовыделения. Метановыделение в основном характеризуется процессом десорбции газа из угля первого сближенного пласта на стадии его затухания.

Следующее повышение уровня газовыделения указывает на начало разгрузки от горного давления второго сближенного пласта. Угол разгрузки в этот период роста метановыделения изменяется от ψ_n^2 до ψ_m^2 , а подвигание очистного забоя определяется разницей между L_m^2 и L_N^2 . Достижение второго локального максимума метановыделения I_m^2 соответствует уровню газовыделения за рассматриваемый период из двух сближенных пластов. Снижение газовыделения вызвано затухающими процессами десорбции метана уже из угля двух пластов. Такое повторение увеличения и сокращения уровня газовыделения под влиянием процессов сдвижения пород и десорбции метана из угля будет происходить до достижения абсолютного максимума газовыделения $I_m^a = I_m^i$, что свидетельствует о попадании в область влияния очистных работ всех возможных источников газовыделения в кровле разрабатываемого пласта.

Стадия от начала газовыделения и до достижения его абсолютного максимума определяется минимум двумя взаимозависимыми процессами. Эти процессы характеризуются параметрами сдвижения подработанных пород и десорбции метана во времени из увеличивающихся объемов угля сближенных пластов, которые последовательно попадают в разгруженную от горного давления зону. В одинаковых горно-геологических условиях интенсивность сдвижения подработанных пород

и формирование углов разгрузки (полных сдвижений) зависят от скорости подвигания очистного забоя и отхода лавы от разрезной выработки L_m^a . На расстоянии L_m^a достигается абсолютный максимум газовыделения I_m^a . Во время удаления очистного забоя от разрезных выработок на расстояние L_m^a формируются углы полных сдвижений, близкие к своему конечному значению ψ_k . В результате образуется зона влияния очистной выработки в кровле разрабатываемого пласта. Положению верхней границы этой зоны соответствует расстояние от разрабатываемого пласта H_p , на котором газовыделение не происходит. Исходя из геометрических соотношений и предложенной схемы (см. рис. 1) расстояние H_p рассчитывается по параметрам L_m^a и ψ_k . В первом приближении ψ_k можно принять равным известной из схемы величине ψ_n^i , что будет более достоверным для рассматриваемых условий, по сравнению с определением этого параметра по усредненным данным согласно нормативному документу ОСТ У 101. 00159226.001–2003. По значению H_p и стратиграфической колонке устанавливается количество угольных пластов, попадающих в зону десорбции газа из данных источников.

Ранее экспериментально было доказано [8], что в одинаковых горно-геологических условиях после достижения локальных или абсолютных максимумов газовыделение в скважины из отдельных источников определяется близкими между собой процессами десорбции на стадии их затухания. Процесс затухания газовыделения во времени t можно описать экспоненциальной зависимостью

$$I_t/I_m^i = e^{-at}, \quad (1)$$

где I_m^i – локальный или абсолютный максимум газовыделения из i -го пласта или суммарного метановыделения из i -го количества рассматриваемых источников;

I_t – текущее значение газовыделения после достижения максимума на стадии затухания процессов десорбции;

a – параметр, характеризующий горно-геологические и горнотехнические условия эксплуатации выемочного участка.

Эмпирические коэффициенты этого или других аналогичных уравнений для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий находят по результатам статистической обработки экспериментальных данных. Чтобы проанализировать, необходимо учесть результаты наблюдений

после достижения локальных и абсолютного максимумов газовыделения. Причем после достижения локальных максимумов в выборку отбирают только данные, полученные на стадии уменьшения газовыделения, вызванного затуханием процессов десорбции метана из источников во времени. Продолжительность каждой такой стадии снижения газовыделения между локальным максимумом и очередным ростом метановыделения установлена согласно эмпирической кривой 1 (см. рис. 1, а).

Определив по результатам статистической обработки параметр a , и зная значения I_m^i , экстраполируются кривые десорбции на стадии затухания метановыделения после достижения локальных максимумов. В каждом случае экстраполяции за начало отсчета принимаются моменты достижения локальных максимумов газовыделения. По полученным зависимостям экстраполяции, в комбинации с элементами кривой 1 (см. рис. 1, а), можно определить суммарное газовыделение из каждого подработанного пласта.

Например, площадь фигуры 4, ограниченная осью абсцисс, частью экспериментальной 1 и расчетной 2 кривых (см. рис. 1, а), соответствует суммарному газовыделению из первого подработываемого пласта. Площадь фигуры 5 между частью экспериментальной 1 и расчетными 2 и 3 кривыми характеризует суммарное газовыделение из второго сближенного пласта. Аналогично рассчитывается абсолютное суммарное метановыделение из каждого вышерасположенного угольного пласта. Из наиболее удаленного пласта газовыделение определяется по площади фигуры 6, заключенной между частью экспериментальной 1 и экстраполируемой 3 зависимостями.

После установления объемов абсолютного газовыделения из каждого источника, учитывая схему сдвижения пород (см. рис. 1, б), мощность подработываемых пластов и удельный вес угля, рассчитывается его количество для каждого пласта, попавшего в зону влияния очистной выработки при достижении абсолютного максимума газовыделения I_m^a . Размеры зон влияния очистных выработок на газовыделение из сближенных пластов определяются с учетом граничных углов и углов полных сдвижений. По количеству угля и его природной газонности устанавливаются запасы газа в источниках, попадающих в зону влияния очистной выработки. Сравнивая эти запасы с количеством выделенного газа, можно судить о степени дегазации каждого сближенного пласта.

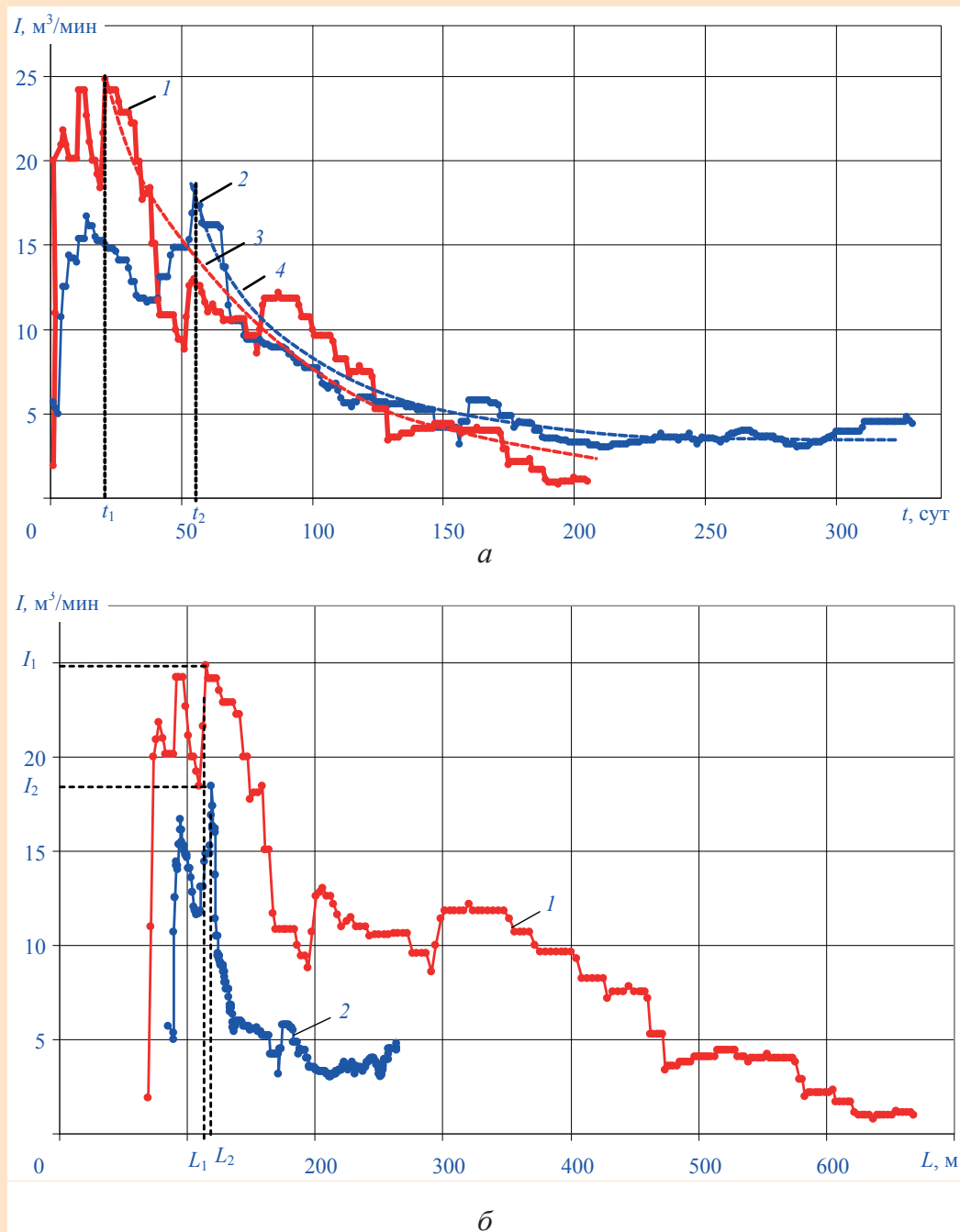


Рис. 2. Изменение метановыделения I в дегазационные скважины от времени t их эксплуатации (а) и расстояния L между разрезными выработками и очистными забоями выемочных участков шахты им. газеты «Известия» ГП «Донбассантрацит»: 1 и 2 – экспериментальные кривые изменения газовыделения в скважины 3-й и 2-бис западных лав; 3 и 4 – десорбция газа из сближенных пластов после достижения абсолютного максимума на участках 3-й и 2-бис западных лав; ●, • – экспериментальные данные; t_1 и t_2 – период достижения абсолютного максимума газовыделения на участках 3-й и 2-бис западных лав; L_1 и L_2 – расстояния от разрезных выработок до достижения абсолютных максимумов газовыделения I_1 и I_2 на участках 3-й и 2-бис западных лав.

Предлагаемый способ позволяет достоверно определять, учитывая взаимную зависимость, параметры сдвижения подработанных пород, количество сближенных пластов, попадающих в область влияния очистных выработок, характеристики процессов десорбции метана из угля сближенных пластов, а также абсолютное газовыделение во времени и степень дегазации подработываемых пластов. Комплекс этих параметров необходим для проектирования вентиляции и дегазации выемочных участков. В других способах прогноза газовыделения из подработываемых пластов [1, 4 – 6] не рассматриваются совместно указанные параметры и не учитывается их взаимная зависимость. Первоначальная информация о параметрах процессов развития очистных работ и сдвижении подработанных пород, количестве сближенных пластов, попадающих в зону дегазации и объемах газа, выделяющегося из источников, дает возможность проектировать безопасную эксплуатацию

МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ

Таблица 1

Индекс пласта	Расстояние от пласта l_2^B до подрабатываемого, м	Мощность пласта, м	Газоносность, м ³ /т с.б.м.		Эмпирические уравнения десорбции газа на стадии затухания процессов	
			Пределы изменения	Средняя	2-бис западная лава, $v = 0,7$ м/сут	3-я западная лава, $v = 2,8$ м/сут
l_6	160	0,80	32	32,0	–	–
l_5	117	0,60	30 – 35	32,5	$I = 9,7e^{-0,016t}$	$I = 5,5e^{-0,028t}$
l_4	72	0,75	35 – 37	36,0	$I = 3,8e^{-0,016t}$	$I = 6,8e^{-0,028t}$
l_3	30	0,55	28 – 30	29,0	$I = 14,4e^{-0,016t}$	$I = 21,8e^{-0,028t}$
l_2^B	0	0,90	–	–	–	–

как рассматриваемого выемочного участка, так и отработку всего шахтного поля.

Установленные связи между параметрами протекающих процессов можно использовать не только для решения производственных задач, но и применять в научных целях. В качестве примера такого использования рассмотрено изменение параметров развития очистных работ, сдвижения подработанных пород и газовыделения для разных скоростей подвигания очистных забоев 2-бис и 3-й западных лав в одинаковых горно-геологических условиях при отработке антрацитового пласта l_2^B шахтой им. газеты «Известия» ГП «Донбассантрацит» [7, 8]. Мощность пласта 0,9 м, угол его падения около 5°. Лавы отработывали столбами по восставанию, их длины соответственно составляли 185 и 205 м. Среднесуточная скорость подвигания очистного забоя за весь период наблюдений 2-бис западной лавы составила 0,7 м, а 3-й западной лавы – 2,8 м. Сведения о горно-геологических условиях залегания сближенных пластов и их газоносности приведены в табл. 1.

Результаты определения параметров сдвижения пород и распределения газовыделения между подработанными пластами согласно предлагаемому способу сведены в табл. 2. В обоих случаях предельное расстояние H_p , рассчитанное по значениям L_m^3 и $\psi_k \approx \psi_n^3$, было примерно одинаковым и соответственно составляло 128 и 122 м, т. е. в зону дегазации попали только три пласта: l_3 , l_4 и l_5 .

Скорость подвигания очистных забоев существенно влияла не только на процессы сдвижения пород, но и на десорбцию газа из угля сближенных пластов, что подтверждает разница значений коэффициентов a в уравнении (1), определенных на основании экспериментальных данных. Для 2-бис западной лавы этот коэффициент равен 0,016, а для 3-й западной лавы он был почти в два раза больше – 0,028. Корреляционные отношения для

полученных зависимостей соответственно равны 0,89 и 0,93. Надежность полученных уравнений и эмпирических коэффициентов подтверждается критерием Фишера при уровне значимости 0,05. Относительная ошибка аппроксимации составляет соответственно 6 и 8 %, что свидетельствует о высокой точности полученных зависимостей и возможности их применения для описания процессов десорбции газа из угля на стадии затухания из каждого сближенного пласта в рассматриваемых усло-

Таблица 2

Обозначение параметров	2-бис западная лава	3-я западная лава
<i>Расстояние между очистными забоями и разрезной выработкой, м</i>		
L_n^1	85	67
L_n^2	93	90
L_n^3	110	110
L_m^1	91	78
L_m^2	95	96
L_m^3	119	114
<i>Угол полных сдвижений (разгрузки), град</i>		
ψ_n^1	35	42
ψ_n^2	57	58
$\psi_k \approx \psi_n^3$	65	65
<i>Максимум газовыделения из всех источников, м³/мин</i>		
$\sum I_m^1$	14,4	21,8
$\sum I_m^2$	16,7	24,2
$\sum I_m^3$	18,4	24,8
<i>Максимум газовыделения из каждого пласта, м³/мин</i>		
I_m^1	14,4	21,8
I_m^2	3,8	6,8
I_m^3	9,7	5,5
<i>Количество газа, выделившегося из каждого пласта, м³</i>		
$\sum I_1$	1373618	1210224
$\sum I_2$	354147	369090
$\sum I_3$	964877	285428

виях при фиксированной скорости v подвигания очистного забоя. Скорость подвигания очистных забоев влияла и на абсолютные максимумы газовыделения из каждого сближенного пласта. Они определены на основании расчетной схемы (см. рис. 1) и экспериментальных кривых изменения динамики газовыделения (рис. 2). Значения максимумов газовыделения из каждого сближенного пласта использованы в эмпирических уравнениях, описывающих процессы десорбции на стадии их затухания во времени (см. табл. 1).

Увеличение скорости подвигания очистного забоя 3-й западной лавы в четыре раза по сравнению с подвиганием 2-бис западной лавы вызвало рост абсолютных максимумов газовыделения из близкорасположенного пласта l_3 от 14,4 до 21,8 м³/мин, а из пласта l_4 – от 3,8 до 6,8 м³/мин. При незначительной скорости подвигания 2-бис западной лавы максимум газовыделения из наиболее удаленного пласта l_5 (9,7 м³/мин) существенно превышал этот показатель для 3-й западной лавы (5,5 м³/мин).

На основании приведенных данных можно сделать важный вывод, что скорость подвигания очистных забоев влияет на изменение баланса метановыделения из сближенных пластов. При больших скоростях подвигания очистных забоев увеличивается абсолютное газовыделение из близкорасположенных сближенных пластов, а уменьшение скорости подвигания приводит к росту газовыделения из наиболее удаленных источников.

Разработанные основные положения прогноза с использованием параметров динамики газовыделения и процессов сдвижения пород проверены в условиях отработки газоносных антрацитовых пластов, вмещающие породы которых обладают высокими прочностными свойствами и имеют незначительную пористость. Это обуславливает ситуацию, когда основными источниками газовыделения могут быть угольные пласты, и метановыделение из них происходит под влиянием четко выраженных первичных и вторичных (активизации) процессов сдвижения пород. При отработке

пластов с углями меньшей степени метаморфизма вмещающие их породы характеризуются менее прочными свойствами и большей пористостью. В результате таких отличий горно-геологических условий может несколько измениться характер экспериментальной кривой динамики газовыделения, но основные научные положения, заложенные в основу прогноза, остаются прежними.

Вывод. Разработанный способ прогноза газовыделения имеет важное научно-практическое значение для угольной отрасли. Его внедрение и использование при разработке нормативных документов будет способствовать дальнейшему повышению уровня безопасной отработки газоносных угольных пластов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт: ДНАОТ 1.1.30-6.09.93.* – К.: Основа, 1994. – 312 с.
2. Драбик А. С. О прогнозе газовыделения из сближенных пластов / А. С. Драбик, Н. И. Антощенко // *Безопасность труда в промышленности.* – 1986. – № 2. – С. 49 – 50.
3. Антощенко Н. И. О необходимости разработки научных основ прогноза динамики газовыделения из сближенных пластов / Н. И. Антощенко, В. Н. Окалелов, Ю. В. Бубунец // *Сб. науч. тр. Донбасского ГТУ.* – 2011. – Вып. 35. – С. 19 – 26.
4. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт* / Под ред. А. М. Карпова. – М.: Недра, 1975. – 238 с.
5. Козловский Б. Прогнозирование метановой опасности в угольных шахтах / Б. Козловский: пер. с польского. – М.: Недра, 1975. – 152 с.
6. *Природные опасности в шахтах, способы их контроля и предотвращения* / Е. Ф. Карпов, Ф. С. Клебанов, Б. Фирчанек [и др.]. – М.: Недра. – 1981. – 471 с.
7. Антощенко Н. И. Механизм формирования газовыделения в скважины при отходе очистного забоя от разрезной выработки / Н. И. Антощенко, В. Н. Окалелов, С. И. Кулакова // *Сб. науч. тр. Донбасского ГТУ.* – 2011. – Вып. 35. – С. 44 – 54.
8. Антощенко Н. И. Влияние скорости подвигания очистного забоя на газовыделение из подрабатываемых угольных пластов / Н. И. Антощенко, В. Н. Окалелов, С. И. Кулакова // *Уголь Украины.* – 2012. – № 2. – С. 5 – 8.