

УДК 622.817.47

Крыжановский Ю. Ю.  
(ПАО «Краснодонуголь»),  
д.т.н., проф. Антощенко Н. И.,  
к.т.н. Филатьев М. В.,  
Гасюк Р. Л.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

## СООТНОШЕНИЕ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ В ВЫРАБОТКИ И ДЕГАЗАЦИОННЫЕ СКВАЖИНЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ ГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

*Теоретические и экспериментальные исследования соотношения метановыделения в горные выработки и дегазационные скважины. Уточнены научные положения теоретической модели, установлены новые закономерности влияния развития очистных работ и изменения добычи угля.*

**Ключевые слова:** дегазация, метановыделение, выемочный участок, дегазационные скважины, горные выработки, земная поверхность.

Применение дегазации подрабатываемых источников с целью обеспечения безопасных условий отработки угольных пластов и использование газа в энергохозяйстве впервые было осуществлено в Рурском бассейне в сороковых годах прошлого столетия [1]. В Донбассе промышленное внедрение дегазации осуществили в начале пятидесятых годов [2]. С тех пор прошло более пятидесяти лет, но до настоящего времени отсутствует теоретическое обоснование снижения уровня метановыделения в горные выработки от эффективности дегазации подрабатываемого массива скважинами.

На основании непосредственных шахтных наблюдений установлено, что увеличение количества отводимого метана дегазационными скважинами не пропорционально снижению его выделения в горные выработки [3]. Это дало основание при расчёте дегазационных систем ввести поправочный коэффициент на возможное увеличение количества капируемого метана, который не выделяется в горные выработки при отсутствии дегазационных скважин [4]. Изучение соотношения метановыделения в горные выработки и дегазационные скважины имеет актуальное значение для науки и практики, так как от решения рассматриваемых вопросов зависит безопасность ведения горных работ и

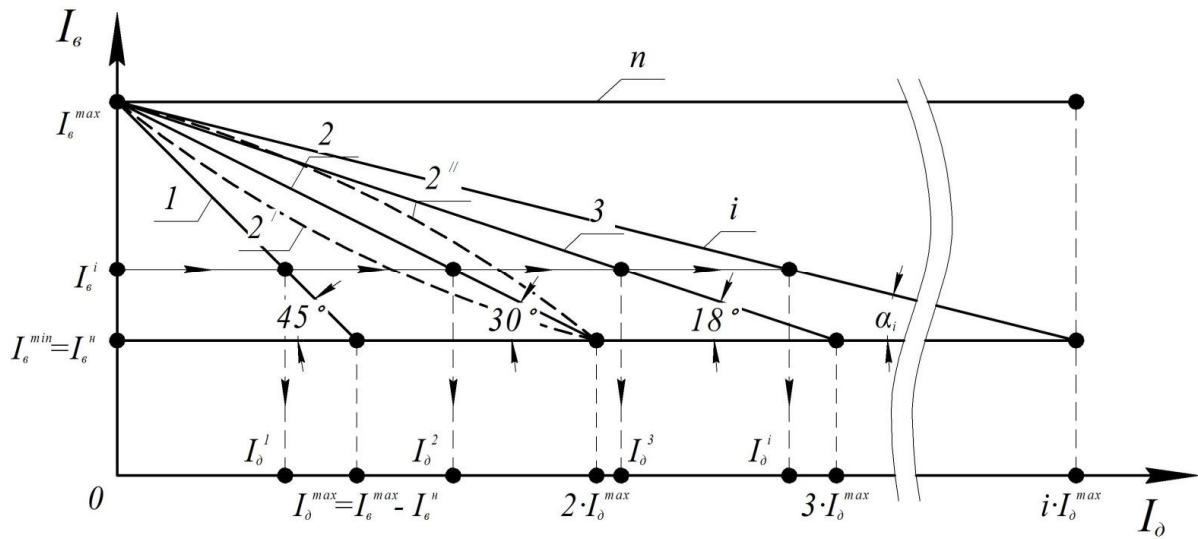
материальные затраты на проведение дегазации.

Целью исследований является разработка общей теоретической модели соотношения между метановыделением в горные выработки и дегазационные скважины, и проверка соответствия её научных положений экспериментальным данным.

Для достижения поставленной цели рассмотрели (рис. 1) возможные варианты соотношения между метановыделением в выработки и скважины согласно представлениям [3, 4]. Основным положением этих работ является сокращение выделения метана в горные выработки при увеличении количества газа, отводимого скважинами. Если метановыделение в выработки ( $I_e$ ) снижается прямопропорционально его увеличению в скважины ( $I_o$ ), то зависимости  $I_e = f(I_o)$  будет соответствовать прямая  $I$ , расположенная под углом  $45^\circ$  к горизонтальной линии. Она описывается уравнением:

$$I_e^i = I_e^{\max} - I_o^i + I_e^H. \quad (1)$$

Это уравнение получено на основании равенства значений  $I_o^1$  и  $I_e^{\max} - I_e^i$ , постоянства суммы  $I_o^1$  и  $I_e^i - I_e^H$ , а также выполнения условия  $I_o^{\max} = I_e^{\max} - I_e^H$ .



$I_d^{\max}$  — максимальное количество метана, отводимое скважинами из подрабатываемой толщи пород и сближенных пластов при 100% их эффективности и прямопропорциональном снижении газовыделения в горные выработки;  $I_g^{\max}$  — максимальное газовыделение в выработки при отсутствии дегазации подрабатываемых пород и сближенных пластов ( $I_d = 0$ );  $I_g^H$  — газовыделение в выработки выемочного участка из других недегазируемых источников (отбитый уголь, обнаженная плоскость пласта, надрабатываемые пласты и т.д.);  $I_g^{\min}$  — минимальное газовыделение в выработки выемочного участка при 100% эффективности дегазационных скважин; 1, 2, 3,  $i$  — прямые, характеризующие соотношение между количеством метана, отводимого дегазационными скважинами и его снижением в горные выработки соответственно в пропорциях 1:1, 2:1, 3:1,  $i$ :1;  $n$  — прямая, соответствующая уровню метановыделения в выработки из подрабатываемых источников, не имеющих гидравлической связи с дегазационными скважинами  $I_g^{\max} = I_g^H$ ;  $I_g^i$  — уровень метановыделения в выработки, который обеспечивается с помощью дегазации в разных горно-геологических и горнотехнических условиях при каптаже соответствующего ( $I_d^1, I_d^2, I_d^3$  и  $I_d^i$ ) количества метана;  $\alpha_i$  — угол наклона  $i$ -й прямой к горизонтали

Рисунок 1 — Зависимость метановыделения в горные выработки выемочного участка ( $I_g$ ) от количества газа, отводимого дегазационной системой из подрабатываемого массива ( $I_d$ ), согласно современным научным представлениям [3, 4]

Зависимость (1) должна быть характерной для дегазации скважинами подработанных пород и сближенных угольных пластов, расположенных в кровле разрабатываемого на расстоянии примерно около десяти его мощностей в зоне высокой эксплуатационной трещиноватости. По аналогичным причинам уравнение (1) будет соответствовать всем способам изолированного отвода метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок или за счёт общешахтной де-

прессии. Это объясняется хорошей гидравлической связью непосредственно источника метановыделения как с дегазационной системой, так и с горными выработками.

При расположении в кровле разрабатываемого пласта источников метановыделения вне зоны беспорядочного обрушения пород эксплуатационные трещины служат основными каналами поступления метана в выработанное пространство выемочных участков. Дегазационные скважины, пробуренные до указанных источников, соз-

дают дополнительные пути для транспортировки десорбируемого метана и обеспечивают более полную дегазацию удалённых угольных пластов. По мере увеличения межпластовой породной толщине роль эксплуатационных трещин в движении метана через вмещающие породы и в степени дегазации подработанных источников уменьшается, а роль дегазационных скважин увеличивается. По этой причине при дегазации удалённых смежных пластов скважины являются практически единственными каналами поступления метана в дегазационную систему, что приводит к дополнительному каптажу газа в подобных условиях и суммарный расход метана на выемочном участке в этих условиях выше, чем могло бы выделиться без бурения дегазационных скважин [5]. Предельным вариантом такой ситуации является прямая  $n$ , перпендикулярная оси ординат (рис. 1). В этом случае любое изменение количества капируемого метана не оказывает влияния на уровень газовыделения в выработки.

Зависимость снижения метановыделения в выработки при дегазации удалённых источников в разных горно-геологических и горнотехнических условиях можно представить прямыми 2, 3...  $i$  (рис. 1). Эти прямые характеризуют соотношение между количеством метана, отводимого скважинами и его снижением в выработки соответственно в пропорциях 2:1, 3:1,  $i$ :1. Целые значения пропорций приняты условно для наглядности иллюстрации графика. В общем случае, исходя из предложенной схемы, зависимость метановыделения в горные выработки ( $I_g^i$ ) от количества капируемого газа из дегазируемых источников ( $I_d^i$ ) можно описать прямолинейной зависимостью:

$$I_g^i = (i \cdot I_g^{\max} - I_d^i) \operatorname{tg} \alpha_i + I_g^H, \quad (2)$$

где  $i$  — коэффициент, равный отношению количества капируемого газа к его

снижению в горных выработках;  $\operatorname{tg} \alpha_i$  — тангенс угла наклона прямой к горизонтали, соответствующий значению коэффициента  $i$ .

Исходя из принятых положений 2-я, 3-я и  $i$ -я зависимости (рис. 1) могут быть не только прямолинейными, но и криволинейными. Единственным условием для таких зависимостей должно быть уменьшение газовыделения в выработки при увеличении количества капируемого скважинами метана. В качестве примера приведены кривые 2' и 2'' (рис. 1).

Для проверки соответствия научных положений разработанной модели экспериментальным данным произвели обработку результатов среднемесячных наблюдений в условиях шахт им. газеты «Известия» ГП «Донбассантрацит» и «Суходольская-Восточная» ПАО «Краснодонуголь». Шахтами производилась отработка соответственно антрацитового пласта  $l_2^g$  с вынимаемой мощностью 0,90 м и пласта  $l_3^1$ , содержащего угли марок К и Ж с вынимаемой мощностью в разных блоках шахтного поля 1,20 и 2,00÷2,20 м.

Шахтой им. газеты «Известия» было отработано одиннадцать выемочных участков с осуществлением дегазации подработываемых источников скважинами, пробуренными из горных выработок. Горно-геологические и горнотехнические условия выемочных участков существенно отличались между собой. Они заключались в разной газоносности пластов, степени развития очистных работ в крыле шахтного поля, бурении в пределах одного выемочного участка разных групп скважин. Эти группы скважин отличались расположением их по отношению к разрезным печам и очистным забоям, способом охраны от разрушения, видом вентиляционных струй воздуха (свежая, исходящая) и прочими факторами.

Дегазация скважинами, пробуренными из горных выработок, применялись на всех

выемочных участка шахты «Суходольская-Восточная». Условия их эксплуатации, исходя из влияющих факторов (расположение, охрана, вид вентиляционной струи), были однотипными. В большинстве случаев дополнительно бурились скважины с земной поверхности.

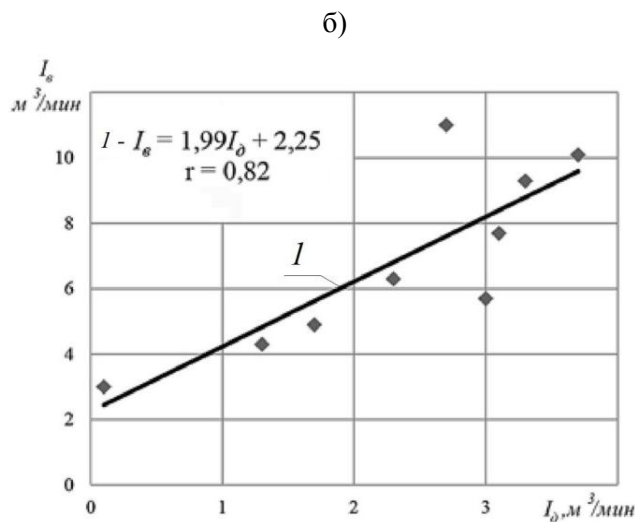
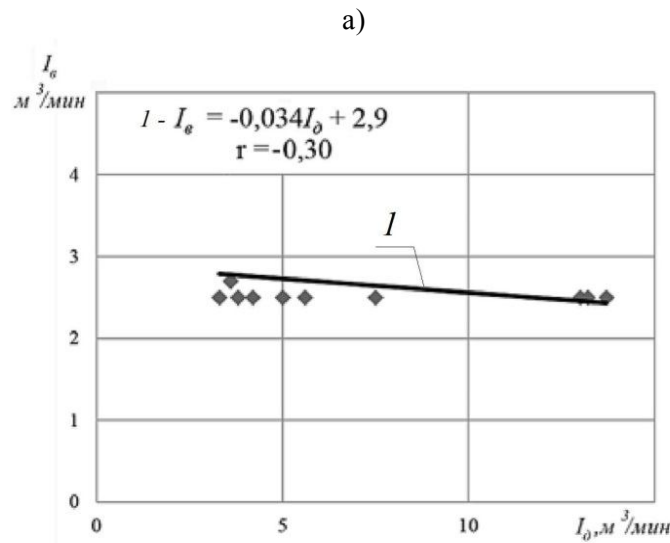
Статистическая обработка экспериментальных данных показала практическое отсутствие корреляционной связи между газовыделением в горные выработки ( $I_g$ ) и скважины ( $I_d$ ) на пяти выемочных участках шахты им. газеты «Известия». Коэффициенты корреляции ( $r$ ) находились в диапазоне  $-0,30 \div 0,26$ . В остальных случаях получена тесная прямопропорциональная зависимость между  $I_g$  и  $I_d$  ( $r = 0,55 \div 0,92$ ). Разница полученных экспериментальных данных (рис. 2) объясняется, очевидно, разными условиями эксплуатации дегазационных скважин. На участке 2-й бис западной лавы дегазация осуществлялась скважинами, пробуренными над разрезной печью (монтажной камерой) и они находились под защитой угольного целика. Такие условия обеспечивали непосредственную гидравлическую связь скважин с источниками газовой выработки и практически исключали выделение метана в горные выработки при развитии очистных работ. Прямая  $I$  почти перпендикулярна оси ординат, что указывает на выделение метана в горные выработки из недегазируемых источников (отбитый уголь, обнаженные поверхности разрабатываемого пласта и т.п.) практически в постоянных количествах (около  $2,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ ). Метановыделение в скважины достигало  $18,4 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Такое соотношение произошло из-за незначительной длины выемочного столба 2-й бис западной лавы (264 м), что не могло способствовать полному развитию процессов сдвига подработанных пород. В результате этого эксплуатационные трещины не достигли дегазируемых источников и как следствие это привело к отсутствию их

гидравлической связи с горными выработками.

При отработке 9-й западной лавы скважины были пробурены из участковых выработок, которые охранялись кострами. Учитывая высокую эксплуатационную трещиноватость подрабатываемых пород вблизи разрабатываемого пласта, при увеличении или уменьшении метановыделения из подрабатываемых источников, происходило соответствующее его изменение как в горные выработки, так и в дегазационные скважины. Практически во всех случаях отработки выемочных участков в крыле шахтного поля характер экспериментально установленного изменения метановыделения в горные выработки под влиянием дегазации подрабатываемых источников не соответствовал теоретическим зависимостям (рис. 1).

Однозначно не установлено соответствие теоретической модели экспериментальным данным и в условиях шахты «Суходольская-Восточная». Одновременное увеличение газовой выработки в горные выработки и скважины наблюдалось на четырех выемочных участках. На двух участках происходило сокращение метановыделения в горные выработки при увеличении каптируемого метана скважинами (рис. 3). В одном случае (12-я восточная разгрузочная лава) наблюдалась некоторая зависимость ( $r = 0,52$ ), но снижение метановыделения в выработки нельзя связывать только с увеличением количества каптируемого газа. Лава дорабатывалась и, по этой причине, происходило снижение среднесуточной нагрузки ( $A$ ) на очистной забой. Это вызвало снижение газовой выработки в большей степени в выработки ( $I_g$ ) и практически не влияло на метановыделение в скважины ( $I_d$ ). Исходя из приведенных данных следует, что сокращение метановыделения в выработки в значительной мере было обусловлено снижением добычи угля, а не усилением дегазации.

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН



1 — осредняющие прямые; ◆ — экспериментальные данные

Рисунок 2 — Пример зависимости метановыделения в выработки ( $I_в$ ) от метановыделения в дегазационные скважины ( $I_д$ ) на выемочных участках 2-й бис (а) и 9-й (б) западных лав шахты им. газеты «Известия»

На участке 12-й бис восточной лавы было зафиксировано снижение  $I_в$  при увеличении  $I_д$  ( $r = 0,47$ ) и стабильной добыче угля, что в некоторой степени соответствует теоретической модели (рис. 1).

Несоответствие в большинстве случаев фактического изменения метановыделения в горные выработки положениям теоретической модели (рис. 1) свидетельствует о том, что при её разработке учтены не все факторы, определяющие уровень метановыделения в выработки и скважины. Экс-

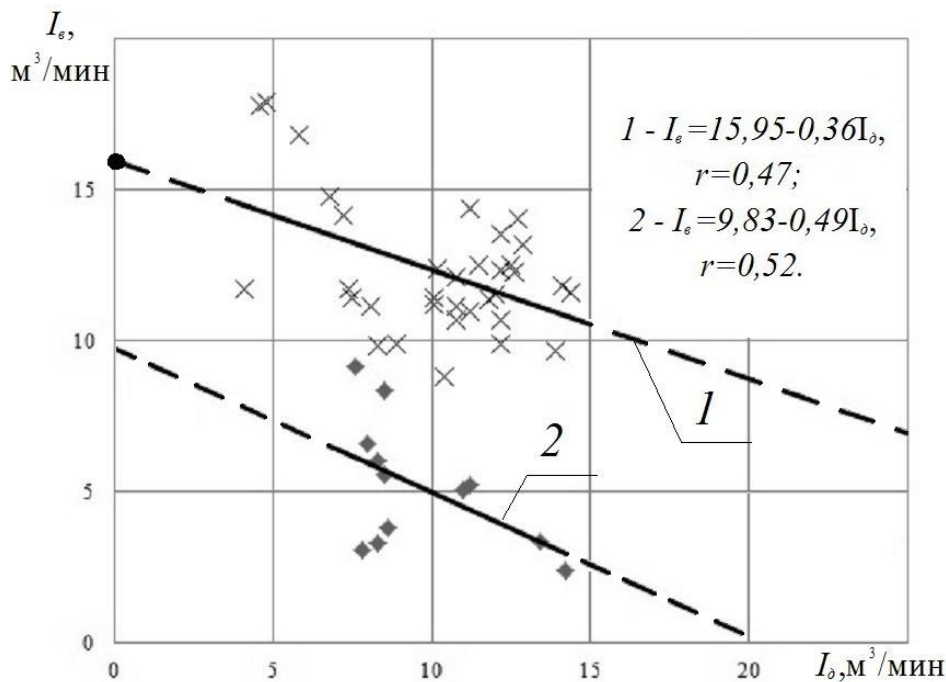
периментально было установлено, что соотношение темпов роста метановыделения в скважины и выработки связано со степенью развития очистных работ, способом охраны скважин от разрушения и интенсивностью отработки выемочного участка [6]. Влияние этих факторов не учитывается рассматриваемой моделью, что очевидно и привело к существенному несоответствию между теоретическими зависимостями и экспериментальными данными.

В начальный период эксплуатации выемочного участка метановыделение в выработки происходит из недегазируемых источников

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

(отбитый уголь, обнажённые поверхности разрабатываемого пласта и т.п.) и значительное его увеличение не происходит. Газовыделение в скважины начинается при некотором удалении очистного забоя от разрезной печи. После этого происходит увеличение газовыделения в скважины и горные выработки. В зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий наблюдалось разное соотношение метано-

выделения в скважины и горные выработки [6]. В некоторых случаях установлены более высокие темпы роста газовыделения в скважины, что свидетельствует о их непосредственной связи с расслоившимися по напластованию подработанными породами, откуда газ в этот период практически не поступает в выработки. В некотором роде для таких условий происходит предварительная дегазация подрабатываемых источников [7].



◆, × — экспериментальные данные; 1, 2 — прямые зависимости  $I_g$  от  $I_d$  соответственно для 12-й бис восточной и 12-й восточной разгрузочной лав

Рисунок 3 — Зависимость метановыделения в выработки ( $I_g$ ) от метановыделения в дегазационные скважины ( $I_d$ ) на выемочных участках шахты «Суходольская-Восточная»

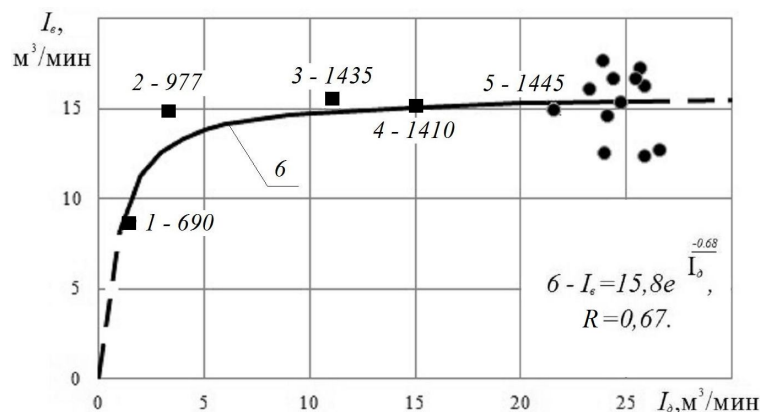
Для разработки теоретической модели зависимости  $I_g = f(I_d)$ , соответствующей конкретным горно-геологическим и горнотехническим условиям, как показывает производственный опыт, необходимо установить влияющие факторы на изменение уровня метановыделения как в горные выработки ( $I_g$ ), так и в дегазационные скважины ( $I_d$ ). Одновременное увеличение или уменьшение  $I_g$  и  $I_d$  ещё не свидетельст-

вует об их взаимной зависимости. Это указывает только на определённое соотношение уровня  $I_g$  и  $I_d$  при изменении влияющих факторов. В одних горно-геологических и горнотехнических условиях такими факторами могут быть нагрузка на очистной забой и степень развития очистных работ на выемочном участке и в крыле шахтного поля. Эти два фактора зависимы между собой в начальный период эксплуатации выемочного участка. При удалении очистного забоя от разрезной печи происхо-

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

дит развитие процессов сдвижения подработанных пород и одновременное увеличение добычи угля до плановых показателей. Влияние этих двух факторов определяет  $I_e$  и  $I_d$  и на последующих стадиях отработки

выемочного участка. Это подтверждается экспериментальными данными в условиях отработки 25-западной лавы шахты «Суходольская-Восточная» (рис. 4).



1 – 690, 2 – 977, 3 – 1435, 4 – 1410, 5 – 1445 — порядковый номер месяца работы лавы ( август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2012 года) при удалении очистного забоя от разрезной печи и соответствующая ему среднесуточная добыча, т; 6 — осредняющая кривая;  $R$  — корреляционное отношение; ■ — экспериментальные данные при эксплуатации только скважин, пробуренных из подземных выработок; ● — экспериментальные данные при совместной эксплуатации скважин, пробуренных из подземных выработок и земной поверхности

Рисунок 4 – Зависимость метановыделения в выработке ( $I_e$ ) от метановыделения в дегазационные скважины ( $I_d$ ) на выемочном участке 25-й западной лавы шахты «Суходольская-Восточная»

При удалении очистного забоя от разрезной печи происходило как развитие процессов сдвижения подработанных пород, так и увеличение добычи угля. Это вызвало параллельное увеличение метановыделения в выработки и скважины. Рост газовыделения в выработки практически прекратился при удалении очистного забоя от разрезной печи на 152 м и достижении среднесуточной добычи 1435 т. Среднее метановыделение в выработки составляло  $15,1 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

Газовыделение в скважины, пробуренные с поверхности, началось после пяти месяцев эксплуатации выемочного участка, но это не повлияло на уровень газовыделения в горные выработки в дальнейшем. В этот период среднесуточная добыча угля находилась в диапазоне  $1386 \div 1630$  т, а

среднее метановыделение в выработки осталось на прежнем уровне  $15,3 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили уточнить научные положения теоретической модели и выявить новые закономерности дегазации подрабатываемых источников. Выводы по результатам проведенной работы сводятся к следующему:

- направленность и теснота корреляционной зависимости между метановыделением в горные выработки и дегазационные скважины определяется степенью развития очистных работ, интенсивностью добычи угля и связанными с ними процессами сдвижения подработанных пород. Необходимым условием снижения метановыделения в выработки под влиянием усиления дегазации является наличие гидравличе-

скої зв'язи джерел газів виділення як з виробок, так і скважинами;

- одночасне збільшення метановиділення в горні виробки і скважини ще не свідчить про неефективну дегазацію, а вказує на одночасний ріст газів виділення при зміні впливаючих факторів;

- в окремі періоди експлуатації вичерпних ділянок дегазаційними скважинами, пробуреними з підземних виробок, відводиться метан з джерел, гідравлічно не пов'язаних з горніми виробками;

- приблизно постійний рівень газів виділення в виробки свідчить про високу ефективність дегазаційних скважин, так і каптування газу з джерел, не пов'язаних гідравлічно з виробками;

- експериментально встановлено, що в декількох випадках скважини, пробурені з поверхні, на протязі всього терміну обробки вичерпної ділянки каптували газ з джерел, гідравлічно не пов'язаних з горніми виробками.

### Бібліографічний список

1. Кегель К. *Внезапные выбросы и дренирование газа при подземных разработках* / К. Кегель; [пер. с нем.] — М.: Углетехиздат, 1956. — 51 с.
2. Печук И. М. *Дегазация спутников угольных пластов скважинами* / И. М. Печук. — М.: Углетехиздат, 1956. — 210 с.
3. Касимов О. И. *Зависимость газовой выработки из подработанных угольных пластов от режима их дегазации* / О. И. Касимов, Н. И. Антощенко // ИГД им. А. А. Скочинского. *Научные сообщения*. — М., 1979. — Вып. 183. — С. 31–35.
4. *Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации*. СОУ 10.1.00174088.001–2004. — Минтопэнерго Украины. — Киев. — 2005. — 161 с.
5. *Исследование закономерностей дегазации разрабатываемых, подработываемых и надработываемых угольных пластов* / Г.Д. Лидин, А.Т. Айруни, Ю.Н. Бессонов, Н.С. Смирнов. — *Научный доклад. АН СССР, Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта*. — М., 1969. — 84 с.
6. Антощенко Н. И. *Особенности газовой выработки при удалении очистного забоя от разрезной печи* / Н. И. Антощенко, С. Л. Сятковский, В. Д. Шепелевич // *Уголь Украины*. — 2006. — №10. — С. 28–31.
7. Драбик А. С. *Газопроявления при посадках кровли* / А. С. Драбик, Н. И. Антощенко // *Безопасность труда в промышленности*. — 1986. — № 3. — С. 7–9.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонДТУ Окаленовым В. Н., д.т.н., проф. МакНИИ Коптиковым В. П.*

*Статья поступила в редакцию 07.03.14.*

**Крижановський Ю. Ю.** (ПАТ «Краснодонвугілля»), д.т.н., проф. Антощенко М. І., к.т.н. Філатьєв М. В., Гасюк Р. Л. (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)

### СПІВВІДНОШЕННЯ МЕТАНОВИДІЛЕННЯ У ВИРОБКИ І ДЕГАЗАЦІЙНІ СВЕРДЛОВИНИ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ГАЗОНЕСНИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ

*Теоретичні та експериментальні дослідження співвідношення метановиділення в гірничі виробки і дегазаційні свердловини. Уточнено наукові положення теоретичної моделі, встановлені нові закономірності впливу розвитку очисних робіт і зміни видобутку вугілля.*

**Ключові слова:** дегазація, метановиділення, виїмкова ділянка, дегазаційні свердловини, гірничі виробки, земна поверхня.



**Kryzhanovskiy Yu. Yu.** (*private corporation «Krasnodonygol»*), **Antoschenko N. I.** **Doctor of Engineering Sciences**, **Filatjev M. V.** **Candidate of Engineering Sciences**, **Gasyuk P. L.** (*DonSTU, Alchevsk, Ukraine*)

**METHANE DISENGAGEMENT CORRELATION IN WORKING AND DEGASSING WELLS WHEN REFINING BEARING COALS SEAMS**

*Theoretical and experimental studies methane disengagement correlation in the mine workings and degassing wells. Scientific positions of the theoretical model are adjusted, new patterns of the development influence of clean-up operations and changes in coal mining are set.*

**Key words:** *degassing, methane disengagement, excavation area, degassing wells, mine workings, earth's surface.*