

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. – М.: Издательство Академии горных наук, 2000.- 519 с.
2. А.В. Шестопалов. Синергетика и механодинамика краевой части газонепроницаемого угольного пласта //Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ, 2000.-№9.- С.54-57.
3. В.В. Зберовский. Обоснование метода и параметров активной дегазации выбросоопасных угольных пластов на больших глубинах //Вісник НГА України.- Дн-ськ, 2000.-№1.- С.28-32.
4. К.К. Софийский, В.В. Зберовский, И.П. Демидов Промышленные испытания гидродинамического способа дегазации и предотвращения выбросов //Уголь Украины, 1994.-№5.
- 5.Софийский К.К., Калфакчян А.П., Воробьев Е.А. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля. - М.: Недра, 1994.

УДК 622.411.33 : 622.412.1 : 533.15

Л.А. Новиков

К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И СРЕДСТВАХ КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Уточнена існуюча механічна модель зміни концентрації метану в період перехідних процесів у прямолінійному фільтраційному потоці. Розглянуті особливості виникнення й поведіння небезпечних скупчень метану, сучасні високоточні засоби визначення його концентрації, а також можливість створення нових ефективних засобів контролю.

TO THE QUESTION ABOUT INVESTIGATION OF NON-STATIONARY DIFFUSION PROCESSES AND MEANS OF CONTROL CONCENTRATION OF METHANE IN A COAL MINES

The exists mechanical model of change of methane's concentration in a period of transitional processes in straight-forward filtration stream was define more precised. The peculiarities of rise and behavior of dangerous accumulations of methane, contemporary high-exact manners of definition its concentration and possibility of construction of new effective methods of control was examined.

При добыче угля с глубин 400-800 м происходит увеличение газопроявлений и опасности проведения горных работ, что связано с повышением напряженного состояния горных пород, газового давления и температуры. Происходит увеличение пластичности угля, деформаций и сдвижений горных пород. Поэтому большое значение приобретают вопросы управления газовой выделением средствами дегазации и вентиляции.

Как известно, более чем на 85% выемочных участков угольных шахт, выработанное пространство является наиболее опасным по газовым проявлениям объектом исследований, которые основываются на знании его аэро- и газодинамики. Эта проблема включает в себя множество научных и практических задач, где особое место занимают процессы диффузии метана и характер его распределения.

Наиболее сложными газодинамическими процессами в выработанном пространстве являются нестационарные диффузионные процессы. Это переходные газодинамические процессы, возникающие при изменении параметров газовой

деления и вентиляции. До сих пор их характер не достаточно изучен. Знание их необходимо для выбора способов дегазации, выборов режимов проветривания, описания характера распределения метана. В настоящее время существует большое количество математических, физических и статических моделей описывающих эти процессы, накоплен большой теоретический и практический материал, предложены различные методы их исследования, однако существующие модели и методы являются ограниченными и не дают полного представления о характере явления. Это объясняется тем, что константы входящие в уравнения диффузии, описывающие распределение воздуха и метана в объеме выработанного пространства, трудно определимы практическим путем. Нельзя определить поля скоростей, давлений и концентраций в начальный момент времени, руководствуясь шахтными испытаниями, в частности, измеренными величинами утечек, концентраций метана и т.д.

При экспериментальных исследованиях газодинамических явлений мы имеем дело с большим количеством случайных возмущений и низкой точностью шахтных измерений. Это отражается на точности создающихся математических моделей, требующих анализа большого количества экспериментальных данных. Этого можно избежать при использовании физического моделирования. Так как физическое моделирование не всегда может быть реализовано в рамках физической модели из за сложного характера диффузионных процессов метана в выработанном пространстве, создании физической модели бывает весьма трудоемким и требует материальных затрат и времени, то предпочтение следует отдавать статическому моделированию газодинамических процессов осуществляемому на ЭВМ. Статическое моделирование практически реализуется при разработке моделирующего алгоритма. В основе алгоритма лежит математическое моделирование исследуемого газодинамического процесса. Статическое моделирование позволяет исследовать случайные процессы на выемочном участке, которые и представляют интерес.

Как известно, концентрация метана у почвы пласта составляет 0.1-1%, а у свода обрушения 50-60%, т.е изменение концентрации метана особо выражено в вертикальном направлении. Это означает, что изменение величины распределения утечек поступающих с откаточного штрека, неоднородности по вертикали будут влиять на характер переходных газодинамических процессов в выработанном пространстве. Всплески концентраций метана при увеличении расхода воздуха, зафиксированные шахтными исследованиями [1,2,3,4], являются отличительной особенностью переходных процессов. Другими словами возникает дополнительный источник газовой выделений при изменении вентиляционного режима. Фельдманом [5] была сделана попытка создания имитационной модели рассматриваемого процесса, но несмотря на ее сложность, некоторые параметры не получили физического обоснования. Так как нестационарные диффузионные процессы исследовались в натуральных условиях, то полученные решения задач нестационарной диффузии в выработанном пространстве были упрощены. Интерес представляет работа [6], где были разработаны и апробированы методы математического моделирования переходных аэрогазодинамических процессов на участках и в вентиляционной сети. В частности, моделирование

этих процессов возникающих при реверсированном проветривании шахт. Однако здесь наблюдается не достаточно точная регистрация результатов моделирования из-за большого числа переменных и низкой точности измерительных средств, трудоемкость анализа результатов. Не совсем эффективно совмещение относительно быстрых аэродинамических процессов с медленными газодинамическими.

Существующие решения рассматриваемой проблемы не раскрывают полностью физической сути явления, являясь приближенными, и не имеют широкого практического использования. Общей особенностью всех результатов моделирования диффузионных свойств метана является прямо пропорциональная зависимость концентрации (c) от интенсивности газовыделения (I).

Рассмотрим существующую простейшую приближенную механическую модель, описывающую изменение $c(t)$ в период переходных процессов в прямолинейном фильтрационном потоке [4]. Реальный источник метана здесь был приближен к линейному. При построении модели считалось, что при увеличении расхода воздуха увеличивается и объем обтекаемого им выработанного пространства, что приводит к вытеснению дополнительного количества метана в выработку. Это дополнительное количество и характеризует локальный во времени дополнительный источник газовыделения. Модель позволяет определять, изменение концентрации метана в области выхода фильтрационного потока на вентиляционный штрек.

$$c(t) = \frac{I_{en}}{2 \cdot M_g \cdot dx} + \frac{\dot{I}_{en}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot t} \cdot \exp\left(-\frac{(y - V_2 \cdot t)^2}{4 \cdot D \cdot t}\right), \quad (1)$$

где I_{en} и \dot{I}_{en} - соответственно интенсивность источника газовыделения метана после регулирования и мгновенного источника в момент увеличения количества воздуха; V_2 - скорость воздуха после регулирования; M_g - коэффициент пористости среды выделенной области; dx - выделенная длина; $y = \sqrt{V_2^2 \cdot t^2 + 4 \cdot D \cdot t}$ - расстояние от вентиляционного штрека до мгновенного источника газовыделения, где D - коэффициент диффузии; t - время переходного процесса. \dot{I}_{en} можно определить по формуле:

$$\dot{I}_{en} = 23 \cdot I_{en}^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{Re_2^*}{Re_1^*} \right), \quad (2)$$

где Re_1^* и Re_2^* - числа Рейнольдса до и после регулирования.

По формуле (1) можно определить изменение концентрации метана в период переходных процессов и максимальное значение $c(t)$ при переходном режиме. Так же возможна комбинация исходного и нового режима фильтрации, при которой повышения $c(t)$ не будет при увеличении расхода воздуха. Однако, зависимость (1) ограничена в своем использовании, так как позволяет произво-

дальше расчет $c(t)$ для исходящих струй участков, но не для очистных забоев. Зависимость построена для случая прямолинейного фильтрационного потока и постоянной скорости фильтрации выделенного элемента потока. Так же возникают некоторые погрешности при расчете в зонах низких концентраций.

В данную модель можно внести некоторые изменения. Учитывая неравномерность газодинамического процесса $I_{en}(t)$ [7], вызванного истинными колебаниями дебита газа (являющегося основной характеристикой газодинамического процесса), можно определить коэффициент неравномерности $K_n = \bar{I}_{max} / \bar{I}$, где \bar{I}_{max} и \bar{I} - среднемаксимальный и средний дебиты газа соответственно.

$$\bar{I}_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{I}_i}{n} + \frac{\bar{I}_{i\max} + \bar{I}_{i\min}}{2}, \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^n \bar{I}_i$ - сумма частных средних, подсчитанная для каждого участка кривой $I_{en}(t)$ расположенной выше линии среднего дебита газа; n - число участков кривой $I_{en}(t)$; $\bar{I}_{i\max}$, $\bar{I}_{i\min}$ - наибольшие и наименьшие значения из частных средних соответственно. Определение среднеквадратичного отклонения дебита газа (I) желательно осуществлять по статической совокупности измеренных величин, которые подчиняются условию $0 \leq I \leq \bar{I}$.

Теперь в формулах (1) и (2) заменим I_{en} на \bar{I}_{max} вычисленное по формуле (3).

В формуле (1) можно учесть неравномерность скорости вентиляционного потока (V_2) меняющейся во времени, причиной чему служит изменение атмосферного давления, колебания мощности вентилятора, изменение аэродинамического сопротивления выработки и т.д., но это приведет к усложнению рассмотренной механической модели и не значительно повысит точность расчетов. Тем более, что существующая модель процесса позволяет проводить его глубокий анализ и достаточно точно описывает некоторые действующие факторы. Модель согласуется с экспериментальными результатами.

Таким образом, при моделировании нестационарных диффузионных процессов, учитывая их сложность, необходимо чтобы построенная модель точно соответствовала характеру рассматриваемого явления и в тоже время отличалась простотой, что необходимо для удобства практических расчетов. При необходимости более детального анализа процесса можно усложнить модель, путем более точного определения какой-либо газодинамической характеристики представляющей интерес или учета моделью дополнительных факторов. При этом надо стремиться исключить погрешности при расчетах и шахтных измерениях, которые могут исказить истинную картину исследуемого явления.

Хотелось бы отметить, что изменения основных характеристик газодинамического процесса, таких как дебит газа и его концентрация оцениваются законом распределения, корреляционной функцией, коэффициентом неравномерности. Математическое описание корреляционной функции имеет вид:

$$R_c(\tau) = \sum_{i=1}^n D_{ci} \cdot e^{-\alpha i n} + \sum_{i=1}^n D_{ki} \cdot \cos \omega i \cdot \tau,$$

где D_c и D_k - дисперсии составляющих процесса $c(t)$; ω - частота; τ - время между двумя сечениями случайных газодинамических процессов; α - экспериментальный коэффициент.

Нестационарность газодинамических процессов вызывается изменением корреляционных функций с течением времени, и, следовательно при исследовании статических свойств газодинамических процессов необходимо в каждом конкретном случае проводить проверку экспериментальной реализации на стационарность.

К зонам высоких концентраций метана (ЗВК) относят различные зоны сопряжений с воздухопроводом выработки, пустоты, купола, слоевые скопления метана, образованные в результате интенсивного газовыделения. Как известно, слоевые скопления могут иметь концентрацию до 100 %, толщину до 70 см, протяженность до 100 м. Они перемещаются в наклонных выработках навстречу потоку со скоростью до 0.25 м/с. Имеют склонность образовываться в тупиковых выработках, на участках с меняющимся горным давлением и геологическими нарушениями.

Общее газовыделение из выработанного пространства является источником образования слоевых скоплений и достигает 0.25 - 0.33 м³/с, а на глубинах более 600 м – 0.5 - 0.67 м³/с, и составляет 70 - 90 % от газовыделения участка. Это характерно для шахт им. А.Ф. Засядько, им А.А. Скочинского и др.

В тупиковых вентиляционных выработках местные слоевые скопления образуются даже при газовыделении 0.01 – 0.0167 м³/с, а концентрация метана достигает 6 – 10 % и больше.

К методам борьбы с местными скоплениями метана относятся: Увеличение скорости воздуха, выбор необходимой схемы вентиляции. Например, При разработке длинными столбами по простиранию в очистных забоях эффективна прямоточная схема проветривания, где с увеличением числа Re область интенсивного проветривания расширяясь оттесняет (ЗВК) в глубь выработки. Из-за неравномерного поступления воздуха в выработку и распределения его утечек, распределение концентрации метана будет неравномерным. Т.е в любом случае, независимо от выбранной схемы проветривания будет иметь место образование (ЗВК). В качестве активных мероприятий для устранения (ЗВК) на сопряжениях применяют отшивы, ВМП, различные отсасывающие устройства, циркуляционное возвратноточное проветривание создаваемое эжектором, ВМП, и осуществляемое при концентрации и распределению источника метановыделения с расходом $Q \geq 0.5 \text{ м}^3 / \text{мин}$. Используют взвихривающие трубопроводы, продольные перегородки с вентиляцией подкровельного пространства, акустические сирены, эжектирование сжатого воздуха в слоевые скопления, энергию свободной струи (при длине метанового слоя $\leq 25 \text{ м}$). Интересно применение микробиологического воздействия, позволяющего установить скорость окисления метана бактериями (штамм 1-70) в шахтных условиях [8].

Шахтные эксперименты в Великобритании позволили таким способом снизить концентрацию метана в почве выработки на 10% [9]. Возникает возможность расчета параметров микробиологического способа снижения газообильности горных выработок и точного прогноза эффективности способа. Можно предположить, что использование новой разновидности особо активных бактерий могло бы дать больший эффект. Для снижения выбросоопасности путем химической абсорбции угля используют водные растворы поверхностно активных веществ и полимерные растворы.

Интерес представляют исследования [10] показавшие, что при обогащении метана нельзя добиться расслоения метано-воздушной смеси в ламинарном потоке и в неподвижном состоянии в естественном гравитационном поле. Были получены численные значения коэффициента диффузии, позволяющие прогнозировать диффузию метана в шахтных условиях.

Как известно, существующие зоны низкой диффузионной активности (слоевые и др. скопления) при увеличении скорости воздуха вызывают всплеск концентрации метана в нисходящей струе. Исследования [11] показали неэффективность, а иногда и техническую невозможность их удаления путем увеличения скорости воздуха, т.к существуют ограничения на V_{max} вдоль очистного забоя. Это следует из анализа соотношений : $Q_{л}/I_c > 2400$; $I_c = I_{л} - I_3$, где : $Q_{л}$ - среднее количество воздуха, поступающее в лаву ; I_c , $I_{л}$, I_3 - соответственно количество метана поступающего на сопряжения; в нисходящую струю; замеренное в поперечном сечении лавы на расстоянии 1/3 ее длины от сопряжения. Здесь была предложена возвратноточная схема проветривания.

Вернемся к формуле (1), описывающей изменение концентрации метана. Принимаем $V_2 = U_{сл}$, где $U_{сл}$ - средняя по площади сечения выработки скорость движения воздуха, необходимая для ликвидации слоевых скоплений (если это возможно). Согласно приложению №3 руководства [12], при газовыделении из кровли :

$$U_{сл} = P \cdot \sqrt[4]{\frac{I}{S}}$$

где S - площадь поперечного сечения выработки в свету, m^2 ; $P = K_{\phi} \cdot \sqrt{S}$ - периметр выработки, м, где : K_{ϕ} - коэффициент формы поперечного сечения выработки (для круглой-3.54; для сводчатой-3.8; для трапециевидной-4.16); $I_{сл}$ - расход метана из источника образующего слой, $m^3/мин$.

$$I_{сл} = 0.01 \cdot Q \cdot (c_2 - c_1),$$

где Q - расход у источника метановыделения ; c_1 и c_2 - средние по сечению выработки концентрации метана до и после источника метановыделения по направлению движения вентиляционной струи в %. c_2 - замеряют в 5м за парусом по ходу струи. Соответственно определяются значения $U_{сл}$ при суфлярном выделении метана из почвы или боковых стенок выработки и при повышенном газовыделении из кровли на площади $S > 1m^2$.

Оценку возможного образования слоевых скоплений можно производить по коэффициенту перемешивания $M = 12.3 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{I_c}{Q}\right)^2 \cdot \sqrt{D}$, где Q - расход воздуха, м³/мин. Слоевые скопления не образуются при $M \leq 0.3$.

В работе [13] было проведено исследование местных скоплений метана, для оценки возможности появления которых использовали коэффициент безопасности.

$$K_G = \frac{\varphi \cdot A_{or} \cdot q_{en}}{60 \cdot Q_{or} \cdot (K_{yme} - 1)} < 1,$$

где φ – коэффициент неравномерности выноса метана; A_{or} – среднесуточная добыча из очистной выработки, т/сут; q_{en} – относительное газовыделение из выработанного пространства, м³/т; Q_{or} – расход воздуха в очистной выработке, м³/с; k_{yme} – коэффициент учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство.

При $K_G < 1$ схема проветривания может применяться без каких либо мероприятий, при $K_G = 1 \dots 1,5$ – только со специальными мероприятиями. Исследование местных скоплений проводилось на вероятностной основе. В результате экспериментальных данных было получено значение максимальной концентрации метана C_{max} выносимого из выработанного пространства.

$$C_{max} = C_o + 100 \cdot \frac{I_{en}}{Q_{ym.en}} \cdot (1.72 + 0.24 \cdot x),$$

где C_o – концентрация метана в поступающей в лаву струе, %; I_{en} – интенсивность выделения метана из выработки; $Q_{ym.en}$ – утечки воздуха из выработки; x – значение аргумента функции $\Phi(x)$ при заданной надежности.

Проверка состава шахтной атмосферы осуществляется различными средствами контроля содержания опасных газов в забоях подготовительных выработок, в исходящих струях лав, блоков участков, шахты в целом. К ним относятся: Интерферометры (для измерения $c \geq 0.5\%$). При проведении тупиковых выработок контроль содержания метана в вентиляционном трубопроводе осуществляется анализаторами типа: АТ1-1, АТЗ-2, АЗОТ, АПТВ.

МакНИИ разработал систему контроля на основе устройств: “Метан-М”, АПТВ, ГУ и ТС ”Ветер-1М” и компьютерной техники. Применяются датчики определения концентрации метана, устанавливаемые на проходческой машине. Используются объемные сейсмические наблюдения, позволяющие определять и изучать местные скопления метана. Проводится Мониторинг напряженно-деформированного состояния угольного массива для выявления зон задержки деформаций опасных по газодинамическим явлениям. Для прогноза выбросоопасных газов используется недисперсионный атомно-абсорбционный ртутный фотометр, определяющий в шахтной атмосфере микроскопические количества

ртути. Наличие последней связано с напряженным состоянием угля (в угле содержится до 10^{-4} % ртути) [14].

Оценка содержания метана в угольных пластах производится на основании знания механической сорбции углей, физико-химические свойства которых, как известно, зависят от пористости и неровности поверхности. В Работе [15] при исследовании механической сорбции угля было использовано фрактальное моделирование, на основании которого было отдано предпочтение электронно-параметрическому методу определения сорбции угля. Этот метод позволяет определять всю адсорбционную и часть абсорбционной способности угля.

В настоящее время применяются термодатчики (комплекс “Метан”). Они обладают низкой точностью и чувствительностью, искроопасны, не долговечны, инерционны, подвержены влиянию агрессивной среды.

Развитие оптоэлектроники и волоконной оптики привело к появлению волоконно-оптических датчиков и систем мониторинга атмосферы [16], основанных на поглощении атмосферой характерных спектральных линий газов. Эти датчики не имеют перечисленных выше недостатков. Они высоко точны, имеют широкий диапазон измерений, помехозащищены, объединяются с системами сбора информации, пожарной сигнализацией, системами телевидения. Основными элементами этих датчиков являются сенсорные оптические ячейки и волоконно-оптический кабель. Интерес представляет использование портативных оптоэлектронных газоанализаторов метана на основе однокристалльного микропроцессора. Данные измерений в 1000 точках считываются в оперативную память, а через 10 с обновляются.

Использование высокоточных лазерных технологий позволяет многократно повысить точность измеряемых параметров. Так например, существующие абсорбционные лазерные анализаторы [17], определяющие концентрацию метана в земной атмосфере, могут быть перестроены для определения опасных (ЗВК) метана в любом месте выработки (включая трудно доступные места), учитывая большой радиус действия этих устройств. Для исследования диффузионных процессов в метано-воздушных смесях можно использовать лазерную корреляционную спектроскопию [18], основанную на изменении объемного светорассеивания.

Рассмотренная механическая модель является ограниченной в применении, т.к. не позволяет определять значение $c(t)$ для очистных забоев, дает погрешности при расчетах в областях низких концентраций. Модель была уточнена с учетом неравномерности газодинамического процесса $I_{gn}(t)$, было принято значение скорости $V_2 = U_{cl}$ необходимое для ликвидации слоевых скоплений. Замечено, что учет неравномерности скорости воздуха приведет к усложнению модели, незначительно повысит точность расчетов и в данном случае нецелесообразен. Предпочтительно использовать упрощенные модели нестационарных диффузионных процессов учитывая их сложность и нехватку о них полной информации. При необходимости усложнения существующей модели для более детального анализа рассматриваемого явления необходимо исключить погрешности возникающие при более точных расчетах и измерениях путем использования высокоточных программ и измерительной техники. Исследования

статических свойств нестационарных газодинамических процессов требуют проверки экспериментальной реализации на стационарность. Для составления детальной картины о характере рассматриваемых процессов необходимо создание и использование высоко - точных датчиков и систем контроля параметров шахтной атмосферы, систем сбора и обработки информации на базе оптоэлектроники и волоконной оптики, а так же современных лазерных технологий. Сюда же относится и высокоточная лазерная аппаратура контроля параметров воздушной атмосферы, которую можно адаптировать под шахтные условия. Учитывая высокую точность лазерной техники, ее можно использовать и для глубоких исследований диффузионных свойств различных газовых смесей. В частности это относится к метано- воздушным смесям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ling D. Simulation of Airflow and Methane Migration in Oaf, Master Thesis Faxing Mining. Instit, China. – 1985.
2. Тяг Р.Б., Потемкин В.Я. Управление проветриванием шахт. – Киев: "Наукова думка", 1977. – 204с.
3. Bruyer B. Anomalies de teneur en grisou dan s less retours d'air. Documents Techniques.№6, - 1967.
4. Л.А. Пучков, Н.О. Каледина. Динамика метана в выработанных пространствах шахт.–М.: МГГУ, 1995. – С. 155-159.
5. Фельдман Л.П., Свягный В.А. Переходные газодинамические процессы в выработанном пространстве при изменении режима проветривания участка. В сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых.– Киев: "Наукова Думка", 1965, вып.4.
6. Ф.А. Абрамов, Л.П. Фельдман, В.А. Свягный. Моделирование динамических процессов рудничной аэрологии. – Киев: "Наукова думка", -1981. – с.208-213.
7. Справочник по рудничной вентиляции. – М.: Недра, 1977. – С. 163-164.
8. Применение микробиологического воздействия для устранения опасных скоплений метана / Кагач. В.В.// МГГУ, Горный информационно- аналитический бюллетень. – 2001. – №6. – С. 242-246.
9. Открытие бактерий потребляющих метан. Gas-guzzling bugs consume methane / Int. Mining and Miner. – 2000. – №33. – С. 235.
10. Исследования гравитационного расслоения метано-воздушной смеси / Демченко В.Б., Колесников В.Г.// МГГУ, Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – №6. – С. 178-180
11. Оценка газовой опасности в очистных забоях и способы проветривания / Дядюра О.И. // Уголь Украины. – 2001. – №5. – С. 38-39.
12. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев.,1994.-С.256-257.
13. М. А. Патрушев, Н. В. Карнаух., А. Г. Лепихов. Повышение надежности проветривания шахт. – Киев: "Наукова думка". - 1990. – С. 125-128.
14. Геомеханические основы прогноза газодинамических явлений в шахтах /Пережилов А.Е., Стахеев Ю.И и др. // Изв.вуз. Горный журнал.1995. – №9. – С. 68-72.
15. С.П. Самохин. / Екатеринбург /, Н.И. Чернова. / М/. “Применение лазеров в технологии и системах передачи и обработки информации”. / Тезис докладов четвертой всесоюзной конференции, 22-24 окт.1991, г. Киев.
16. В.Ш. Берикашвили., М.В. Хиврин. Волоконно-оптические системы контроля атмосферы угольных шахт. – М.: Радиотехника. – 2001. – №5.– С.21-27.
17. Г.И. Козин, Ю.И. Медведь, В.В. Петров. Абсорбционные лазерные анализаторы дистанционного обнаружения аномалий метана в атмосфере. “Применение лазеров в технологии и системах передачи и обработки информации”. / Тезис докладов четвертой всесоюзной конференции, 22-24 окт. 1991, г. Киев /.
18. Лукинов В.В., Гончаренко В.А., Суворов Д.А. Исследование сорбции угля с учетом фрактальной размерности его структуры. // Геотехническая механика: Межведомственный сборник научных трудов. – Днепропетровск: Поліграфіст.– 2001.–№29.– С. 75-78.