

УДК 622.28:622.016

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ, НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
АСПЕКТЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК  
УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

**д.т.н. Ильяшов М.А. (ИФГП НАНУ)**

*У ретроспективному плані розглянуті концептуальні, наукові та технологічні аспекти підтримки гірничих виробок. На прикладі досвіду шахтоуправління “Покровське” показано подальший розвиток комбінованих охоронних конструкцій виймкових штреків.*

**CONCEPTUAL, SCIENTIFIC AND TECHNOLOGY ASPECTS OF COAL  
MININGS' SUPPORT**

**Pyashov M.A.**

*In history recording plan the conceptual, scientific and technology aspects of support of the coal minings have been considered. By the example of the mine administration “Pokrovske” further development of composite safe constructions of stoping headings are shown.*

Задача повышения эффективности и безопасности проведения и поддержания горных выработок требует реализации новых управленческих и научных концепций, которые способны не только поддержать достигнутый технологический уровень шахтных производств, но и обеспечить, если не прорыв, то хотя бы стабильный его рост. В проблеме обеспечения охраны горных выработок угольных шахт характерным является не только противоречивость по поводу оценок достигнутых научных результатов, но и, в еще большей степени, по поводу целей, которых можно достигнуть при их использовании. Это связано, в первую очередь, с тем, что их применение осуществляется в весьма широком диапазоне многообразных и сложных горно-геологических условий поддержания выработок, для которых зачастую используемые знания и закономерности не были установлены. Несмотря на выявленные в последнее время фундаментальные закономерности об особенностях деформирования и разрушения породных массивов, ослабленных горными выработками [1–5], наиболее неясным остается геомеханическое поведение углепородных толщ в условиях изменения напряженно-деформированного и структурно-фазового состояния породных массивов.

Основная задача практической геомеханики на современном этапе состоит в постоянном расширении условий и объемов проведения экспериментальных исследований, как базы для теоретических обобщений и разработки практических рекомендаций.

На повестке дня стоит задача обобщения имеющихся и получения новых экспериментальных данных, как для создания элементов фундаментальной теории, так и феноменологических теорий описания геомеханических про-

цессов, происходящих в подземных геотехнических системах угольных шахт. Здесь уместно привести слова Ю. Швингера [6], что «...истинная роль фундаментальной теории заключается не в том, чтобы описать сразу же имеющийся необработанный теоретически экспериментальный материал, а в том, чтобы объяснить относительно небольшое число параметров феноменологической теории, в терминах которых было описано огромное количество экспериментальных данных».

Очевидно, что именно феноменологические теории позволят обосновать ряд практических правил и технологий управления горным давлением в выработках угольных шахт. Сегодня можно утверждать, что прорывных технологий в области крепления, поддержания и охраны горных выработок не существует – все они носят эволюционный характер. Главных причин тому несколько.

1. Никогда угольной промышленности не выделялись достаточные средства на прогнозирование и формирование стратегии разработки указанной проблемы.

2. Имеющийся научно-технический потенциал, наработанный академическими, отраслевыми институтами и ВУЗами по-прежнему остается не востребованным, а его использование и развитие не обеспечивается достаточной финансовой поддержкой.

3. Отрасль в части применения металлокрепей, анкерных крепей или охранных конструкций с неметаллическими материалами с опозданием, а порой неумело, повторяла зарубежный опыт (Германия, Великобритания, США), игнорируя достижения своих ученых.

4. Целый ряд малых венчурных фирм, имея необходимую базу и специалистов, разрабатывают и испытывают на шахтах отрасли инновационные новшества за счет собственных средств, но отрасль не координирует их работы, не оказывает стимулирующую поддержку, поэтому даже качественно новые разработки применяются в весьма ограниченных объемах. Очевидно, что крайне актуальным является развитие известных базисных форм инновационных процессов: административно-хозяйственной (шахты), программно – целевой (отрасль), инициативной (ученые, венчурные фирмы, специалисты).

5. Отсутствие объективной оценки эффективности технических новшеств и экономического механизма определения и получения финансовой сатисфакции разработчиками, производителями и потребителями технических новшеств.

Говоря об экономической стороне проблемы, следует указать на два ее аспекта. Первый связан с тем, что в оценке экономической эффективности внедряемых новшеств в большинстве случаев присутствуют элементы произвольности и искажения исходной базы, принимаемой в расчетах. Другой аспект связан с острой необходимостью существенного снижения капитальных и эксплуатационных затрат на проведение и поддержание выработки, величина которых достигает до 30% в себестоимости добычи угля. Именно

эта статья расходов обладает наибольшими реальными резервами в современных условиях хозяйствования для обеспечения конкурентно способности и эффективности производства с учетом складывающейся конъюнктуры внутреннего и внешнего рынков, поэтому она требует постоянного изучения физики и механики горных процессов.

Исходя из изложенных предпосылок, нами была поставлена задача изучения геомеханики устойчивости горных выработок, подверженных влиянию фронта очистных работ с целью разработки эффективных технических решений их поддержания. Комплекс исследовательских работ был проведен в условиях поддержания горных выработок в шахтоуправлении «Покровское» (бывшая ш. «Красноармейская-Западная № 1») <sup>1</sup>.

Рабочая гипотеза имела две предпосылки: 1) устойчивость выемочных штреков – это физика больших перемещений (смещений) и 2) перспективным в поддержании участковых выработок угольных шахт является применение комбинированных охранных конструкций нарастающего сопротивления с комплементарной условиям податливостью [7,8,9].

В связи с этим в задачу исследований входила оценка величин смещений пород при различных охранных конструкциях. Для этого были оборудованы наблюдательные станции в выработках, указанных в табл. 1, которые были закреплены крепью КМП-15,4-19,3. Анализ данных таблицы 1 показывает, что величины смещений (опускания) пород составляет 0,5–1,2 м, а потеря сечения выработок достигает 7,0 м<sup>2</sup>. Большими значениями характеризуется скорость потери сечения выработки, достигая в максимуме 600–1000 см<sup>2</sup>/сут. В зоне влияния очистных работ потеря высоты выработки увеличивается в 1,25–1,35 раза, а пучение превышает 0,8–1,2 м. Понятно, что в таких условиях применяемая арочная крепь не в состоянии самостоятельно компенсировать в полной мере большие смещения пород в выработку и обеспечить ее эксплуатационное состояние для отработки последующей лавы.

Одновременно с измерениями смещений пород, на базе маркшейдерских замеров оценивалось вывалообразование в штреках. Установлено, что высота вывалов варьирует в пределах 1–5 м, при среднем значении 2,5 м. На базе результатов статистической обработки установлено, что высота обрушения пород  $h_b$ , определяющая нагрузки на охранную конструкцию с погрешностью 18–22%, может быть описана линейной зависимостью следующего вида:  $h_b = 0,2 + 0,7b$  ( $b$  – ширина выработки).

Для оценки влияния типа охранной конструкции на величину смещений был проведен специальный шахтный эксперимент во 2-ом южном конвейерном штреке блока 8, для чего отдельные его участки были закреплены по разным схемам, которые даны в табл. 2.

---

<sup>1</sup> В исследованиях, проводимых под руководством автора принимали участие инженеры Кожушок О.Д., Халимендииков Е.Н. и др.

Таблица 1

**Результаты шахтных наблюдений за смещением пород и потерей сечения  
в горных выработках**

Выработка	№ наблюдательной станции, ПК	Параметры выработки			Потери			$\frac{\Delta S}{t}$ , см <sup>2</sup> /су т
		h, м	b, м	S, м <sup>2</sup>	$\Delta h$ , м	$\Delta b$ , м	$\Delta S$ , м <sup>2</sup>	
1-й южный конвейерный штрек бл. № 2	1 (ПК 130)	$\frac{2,16}{2,65}$	$\frac{4,33}{5,00}$	$\frac{7,5}{10,8}$	0,49	0,67	3,3	1000,0
		$\frac{2,4}{2,7}$	$\frac{5,1}{5,2}$	$\frac{9,8}{11,3}$				
	3 (ПК 154)	$\frac{2,15}{3,07}$	$\frac{4,6}{4,9}$	$\frac{8,1}{13,4}$	0,92	0,3	5,3	246,0
		$\frac{2,7}{3,1}$	$\frac{4,7}{4,8}$	$\frac{10,9}{12,6}$				
1-й южный конвейерный штрек центральная панель бл. № 8	5 (ПК 109)	$\frac{2,6}{3,0}$	$\frac{5,0}{5,3}$	$\frac{10,7}{12,7}$	0,4	0,3	2,0	130,0
	6 (ПК 121)	$\frac{2,6}{3,0}$	$\frac{5,0}{5,15}$	$\frac{10,6}{12,7}$	0,4	0,15	2,1	101,0
	7 (ПК 133)	$\frac{2,65}{3,2}$	$\frac{5,0}{5,3}$	$\frac{10,8}{14,5}$	0,55	0,3	3,7	112,2
	8 (ПК 150)	$\frac{2,5}{2,8}$	$\frac{4,9}{5,1}$	$\frac{10,0}{11,3}$	0,3	0,2	1,3	62,0
	9 (ПК 166)	$\frac{2,6}{3,1}$	$\frac{5,1}{5,52}$	$\frac{10,6}{13,8}$	0,5	0,42	3,2	97,0
	10 (ПК 172)	$\frac{2,85}{3,3}$	$\frac{5,0}{5,4}$	$\frac{11,8}{14,6}$	0,45	0,4	2,8	130,0
	11 (ПК 188)	$\frac{2,8}{4,0}$	$\frac{5,35}{5,4}$	$\frac{12,5}{19,7}$	1,2	0,05	6,8	327,0
2-й южный конвейерный штрек бл. № 5	12 (ПК 81)	$\frac{2,18}{3,22}$	$\frac{5,1}{5,3}$	$\frac{9,3}{13,8}$	1,04	0,2	4,5	633,0
	13 (ПК 96)	$\frac{2,58}{3,45}$	$\frac{5,0}{5,3}$	$\frac{10,5}{15,1}$	0,87	0,3	4,6	313,0
	14 (ПК 103)	$\frac{2,64}{3,278}$	$\frac{5,2}{5,4}$	$\frac{9,6}{13,8}$	0,64	0,2	4,2	286,0
	15 (ПК 111)	$\frac{2,44}{3,125}$	$\frac{5,15}{5,4}$	$\frac{9,2}{13,5}$	0,68	0,25	4,3	292,0
2-й южный конвейерный штрек центральная панель бл. № 8	16 (ПК 4)	$\frac{3,2}{3,5}$	$\frac{5,3}{5,35}$	$\frac{14,2}{15,6}$	0,3	0,05	1,4	78,0
	17 (ПК 15)	$\frac{3,34}{4,0}$	$\frac{5,5}{5,7}$	$\frac{14,5}{17,4}$	0,7	0,2	3,1	173,0
	18 (ПК 34)	$\frac{3,2}{3,7}$	$\frac{5,5}{5,6}$	$\frac{15,7}{18,8}$	0,5	0,1	2,9	162,0
	19 (ПК 46)	$\frac{3,6}{4,1}$	$\frac{5,45}{5,55}$	$\frac{16,8}{19,5}$	0,5	0,1	2,7	151,0

Таблица 2.

**Схемы крепления 2-го южного конвейерного штрека блока № 8 за лавой  
на момент обследования**

Тип крепления	Сечение в свету, м <sup>2</sup>	Интервал ПК
Литая полоса + рама + анкер (2,9 м – 4 шт.; 4,0 м – 9 шт.)	15,5	ПК 68–ПК 78
Литая полоса + рама + анкер (2,9 м – 7 шт.)	15,5	ПК 78–ПК 117
Литая полоса/тюбинги + рама + анкер	15,5	ПК 117–ПК 133
Рама	15,5	ПК 133–ПК 149 + 6 м
Литая полоса + рама + анкер (2,9 м – 7 шт.)	15,5	ПК 149 + 6 м–ПК 178

Состояние конкретного участка определяется суммарным воздействием эффектов, связанных с перемещением лавы и взаимодействием массива с охранной конструкцией.

Проводившиеся в штреке наблюдения позволили установить такие особенности во взаимодействии охранных конструкций с породным массивом:

а) наиболее нагруженной частью охранной конструкции при всех вариантах ее реализации является верхняя;

б) характерна существенная асимметрия нагрузок на крепь  $F_{\max}/F_{\text{ном}}$ , что проявляется в асимметрии деформаций  $\varepsilon_{\max}/\varepsilon_{\text{ном}}$  при симметричной установке элементов крепи во всех ее вариантах, причем максимальная боковая нагрузка на крепь направлен со стороны налегающей на литую полосу породной консоли.

Более детальное изучение распределения характера деформации крепи по мере удаления от лавы позволяет выделить несколько характерных участков:

а) на расстоянии за лавой 40 м, где деформация контура при непрочной еще литой полосе определяется совместным воздействием крепи сопряжения штрека с лавой и эксплуатационной крепи штрека и не имеет ярко выраженного характера;

б) в интервале 40–200 м за лавой, где преобладающая нагрузка на крепь действует со стороны налегающего на литую полосу массива;

в) на участке более 200 м от лавы, где нагрузка на охранную конструкцию становится симметричной, а максимум приходится на ее верхнюю часть.

Виброакустической диагностикой охранных конструкций выявлены особенности их нагружения. Наибольшая асимметрия нагрузок (2,0-3,0) характерна для рамных крепей. Отличительной особенностью работы анкерных крепей является более равномерная ее нагруженность, при этом наблюдается уменьшение нагрузки на анкера со стороны литой полосы. Поскольку, в отличие от рамной крепи, анкерная крепь вступает в работу после ее возведения, она является эффективным средством предотвращения деформаций породного массива со стороны литой полосы до затвердевания ее материала.

Эффективность работы литой полосы оценивалась по геомеханике процессов в выработке по интенсивности уровня естественного импульсного

электромагнитного излучения (ЭМИ), для чего конкретные измерения проводились со стороны угольного целика и со стороны выработанного пространства с возведенной литой полосой.

Выявлено, что на расстоянии порядка 40 м за лавой интенсивность ЭМИ со стороны литой полосы выше. Она не приобрела еще достаточной жесткости и не может эффективно приостановить процесс разрушения налегающей на полосу породы, сопровождающийся образованием новых поверхностей и, следовательно, высвобождением энергии в различных формах, в том числе и в форме широкополосного электромагнитного излучения. На протяжении следующих 50 м, судя по уровню ЭМИ с обоих направлений, жесткость полосы соизмерима с жесткостью угольного целика, что обеспечивает примерно одинаковые условия для налегающих пород. В дальнейшем полоса совместно с тубингами приобретает свойства жесткой опоры, а угольный целик по сравнению с ней становится более податливым. Регистрируемое электромагнитное излучение исходит как от самого пласта, микрообъемы которого способны к хрупкому разрушению, так и от налегающего алевролита кровли, имеющего невысокие показатели прочности на разрыв, что способствует образованию новых поверхностей при сравнительно невысоких механических напряжениях в породном массиве.

Анализируя совокупно результаты вибродиагностики и контроля уровня ЭМИ, можно отметить следующее.

Первый участок (0–40 м) характеризуется существенным влиянием лавы на распределение напряжений в массиве. Литая полоса на данном участке еще не является достаточно жесткой опорой, способной противостоять давлению налегающей породной консоли. В этот период деформации контура самого штрека эффективно ограничивается системой закрепленных в нем анкеров, не имеющих «холостого хода» и, в определенной степени, рамной крепью. В ближней зоне сказывается положительное влияние крепи сопряжения лавы со штреком. Несмотря на явную асимметрию граничных условий, штрек на этом участке в основном сохраняет свою форму, а распределение нагрузки на охранную конструкцию носит, в значительной степени, случайный характер, определяемый качеством возведения крепи. В то же время в выработанном пространстве идут интенсивные процессы разрушения кровли, определяющие повышенный уровень электромагнитной эмиссии.

На втором участке (40–200 м) влияние лавы ослабевает, но является еще существенным фактором, определяющим распределение напряжений в породном массиве. Литая полоса приобретает характеристики, соизмеримые с характеристиками угольного пласта. Это способствует выравниванию боковых нагрузок на охранную конструкцию. Появляется четко выраженный максимум нагрузки на верхнюю часть охранной конструкции. В это время зона расслоений над выработанным пространством распространяется в глубину массива, снижая вертикальные сжимающее напряжение в ее объеме и, соответственно, создавая зону опорного давления над литой полосой и частично над выработкой за пределами разрушенной приконтурной области. По данным измерений, выполненных на этой же шахте, на участке со сходным строением кровли – в дренажном

квершлага горизонта 708, зона интенсивной трещиноватости не превышает 1,3 м. Сдвиг зоны опорного давления в глубину массива приводит к появлению боковой нагрузки на крепь, которая наиболее четко проявляется на втором участке по визуалью наблюдаемой деформации арок.

На третьем участке (более 200 м) влияние лавы уже практически не сказывается на состоянии штрека. Литая полоса становится более жесткой, чем породы на контакте сверху и снизу. С одной стороны это обеспечивает значительное снижение бокового давления на нижнее звено рамной крепи со стороны выработанного пространства. С другой стороны полоса начинает проявлять себя как жесткий штамп, вдавливаемый в породы почвы и вызывающий пучение на границе с ней.

Таким образом, литая полоса из твердеющих материалов выполняет двойственную роль: с одной стороны работает как опора, предупреждающая расслоение и разрушение пород кровли угольного пласта, чем обеспечивается формирование над штреком защитного перекрытия. С другой стороны, охранная конструкция из полосы, в том числе и включающей железобетонные блоки, выполняет роль «режущего» элемента, что провоцирует разрушение – облом кровли пласта со стороны выработанного пространства. Это обеспечивает предупреждение разрушительного действия горного давления на сопряжение штрек – лава.

В совокупности с анкерной крепью, которая повышает монолитность массива, литая полоса уменьшает коэффициент асимметрии нагрузок на рамную крепь с 2–3 до 1,20–1,25.

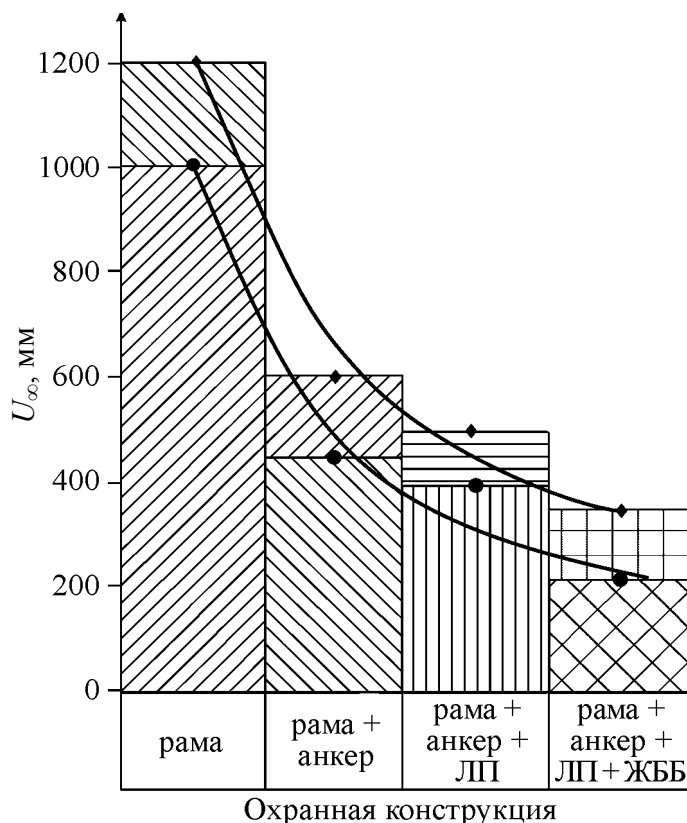
Проводившиеся одновременно с приборной диагностикой метрические измерения позволили сопоставить величины смещений пород в полость штреков в зависимости от вида охранной конструкции. На базе обработки маркшейдерских замеров получена вероятностно-статистическая зависимость (1) смещений кровли выработок с учетом влияния очистных работ:

$$U_k = \frac{0,001 \frac{b}{h} (80 - L) \left( K_k + E \frac{\gamma H}{\sigma_{сж}} \right)}{K_{вз}}. \quad (1)$$

В выражении (1) приняты следующие обозначения:  $\sigma_{сж}$  – прочность пород на сжатие;  $\gamma H$  – показатель условий сложности поддержания выработок;  $b$  и  $h$  – ширина и высота выработок;  $L$  – расстояние до лавы, изменяющееся в диапазоне (+80 м)–(–150 м);  $0,87 < K_k \leq 0,93$ ;  $E$  – модуль упругости породы;  $K_{вз}$  – введенный нами коэффициент, характеризующий взаимодействие породного массива и охранной конструкции –  $1 \leq K_{вз} \leq 8$ : большие значения  $K_{вз}$  характерны для жестких систем – при рамной крепи  $K_{вз} = 1,0$ , при ее комбинации с анкерной крепью – 2; при комбинации с литой полосой – 4; при комбинации с литой полосой и ЖББ – 8.

Сравнение величин смещений пород в штреках при разных охранных конструкциях показано на рис. 1, из которого видно, что их уменьшение но-

сит гиперболический характер с увеличением иерархии структуры конструкции и в среднем составляет: для рам – 1,0–1,2 м; для рам с анкерами – 0,45–0,60; при комбинации с литыми полосами – 0,3–0,5; при комбинации с литой полосой и железобетонными блоками – 0,20–0,35 м.



**Рис. 1.** Сравнение величин смещений пород в штреках при разных видах охраняющих конструкций

Резюмируя изложенное, можно заключить:

1) традиционно применяемая арочная крепь не в состоянии самостоятельно компенсировать в полной мере большие смещения пород в выработку и обеспечить их эксплуатационное состояние даже при увеличении сечения выработок на 15-30% и расхода металлопрофиля до 650–1000 кг/пог. м, так как она несвоевременно включается в работу и не набирает требуемого рабочего сопротивления за нужный промежуток времени;

2) для поддержания выемочных выработок перспективными являются комбинированные системы с использованием литых околострековых полос различной несущей способности, податливости и формы, которые изменяют механизм деформирования пород над штреками (сопряжениями) и обеспечивают их повторное использование;

3) технологический регламент применения таких комбинированных систем [10] при его жестком соблюдении и строгом технологическом контроле обеспечил эффективную отработку в шахтоуправлении «Покровское» 20 лав и повторное использование выемочных штреков со всеми вытекающими положительными последствиями для обеспечения нагрузок на очистных забоях и эффективности горных работ;



4) работы по повышению эффективности комбинированного способа охраны выработок должны быть направлены на оптимизацию производственных процессов возведения крепей, обеспечение устойчивости участков сопряжений с лавами, уточнение технологических параметров при высоких скоростях подвигания лав, разработку и совершенствование способов контроля и мониторинга технологических процессов при проходке выработок.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закономерность разрушения предельно-напряженных горных пород при слабых воздействиях. Диплом № 1 / В.Н. Потураев, А.Н. Зорин, В.В. Виноградов, А.Ф. Булат // Научные открытия (научные гипотезы, научные идеи). – Москва–Санкт-Петербург, 2000.
2. Закономерность омоноличивания рыхлых водонасыщенных пород под воздействием электрического тока. Диплом № 12 / В.И. Бондаренко, Г.Г. Пивняк, А.Н. Зорин // Научные открытия (научные гипотезы, научные идеи). – Москва–Санкт-Петербург, 2000.
3. Закономерность изменения устойчивости обнажений в выработках. Диплом № 131 / В.Г. Агеев, С.В. Кужель, Е.А. Сдвижкова, С.Б. Тулуб, А.Н. Шашенко // Научные открытия (научные гипотезы, научные идеи). – Москва–Санкт-Петербург, 2000.
4. Явление образования перемещающихся нарушенных зон в напряженных горных породах. Диплом № 188. / В.Я. Кириченко, Е.Л. Звягильский, А.В. Лишин, Б.М. Усаченко, Ю.М. Халимендик // Научные открытия (сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез). – М., 2000.
5. Закономерность самоорганизации грунтовых и породных массивов вокруг протяженных подземных выработок / Л.В. Байсаров, М.А. Ильяшов, В.В. Левит, Т.А. Паламарчук, В.Н. Сергиенко, В.Б. Усаченко, А.А. Яланский // Потоцкий В.В. Научные открытия, идеи, гипотезы (1992–2007). Информационно-аналитический обзор. – М.: МААНОИ, 2008.
6. Физики о физике. Физика твердого тела: новые идеи и методы. // Сборник статей. – М., Знание, 1972. – № 4.
7. Байсаров Л.В., Ильяшов М.А. Демченко А.И. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок. – Днепропетровск: ЧП «Лири ЛТД», 2005.
8. Перспективы использования комбинированного способа охраны сопряжений лав / Ильяшов М.А. // Уголь Украины. – №4. – 2008.
9. Конъюктурно-экономическая и социально-техническая актуальность охраны подготовительных выработок с помощью литых полос / Ильяшов М.А. // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения. Труды 6-й Межрегиональной научно-практической конференции 9–11 апреля 2008 г. – Воркута: Филиал СПГИ (ТУ) Воркутинский горный институт, 2008.
10. Временный технологический регламент по охране подготовительных выработок угольных шахт литыми полосами из твердеющих материалов / А.Ф. Булат, М.А. Ильяшов, Б.М. Усаченко, Л.В. Байсаров и др. – Днепропетровск: РИА «Днепр». – VAL», 2004.