

новлены эти параметры для Пешеланской гипсовой шахты: $\alpha=2,6$; $\sigma=450$.

Определив параметры α и σ находятся точки резкого изменения скорости геомеханической готовности к обрушению. Установлено, что для Артёмовской шахты $P_{отн}=0,7$; $n_{обр}\Sigma S_i=500 \text{ м}^2$. Физический смысл этих показателей (координаты верхней точки перегиба) состоит в том, что за этими точками наступает геомеханическая готовность массива к обрушению.

Полученные результаты составили основу для разработки геомеханической системы управления устойчивостью подземных камер на гипсовых шахтах.

УДК 622.831.3

В.Я. Кириченко

ГРАВИСИНЕРГЕТИКА ПОДРАБАТЫВАЕМОЙ УГЛЕПОРОДНОЙ ТОЛЩИ ДВИЖУЩИМСЯ ОЧИСТНЫМ ЗАБОЕМ

Розглянуто гравісинергетичні процеси підроблюваної вуглепородної товщі очисного вибою, що рухається.

GRAVYSYNERGETIC PROCESSES OF THE WRECKED COAL THICKNESS OF THE CLEANSING COAL-FACE, WHICH IS MOVING

Gravysynergetic processes of the wrecked coal thickness of the cleansing coal-face, which is moving are given.

При разработке пластов угля впереди очистного забоя наблюдается изменение первоначального состояния горного массива, вызванное опусканием кровли [1]. Предполагалось, что впереди забоя лавы движется волна давления, причем ее интенсивность уменьшается с удалением от забоя. Основоположником этой идеи признан Вебер.

Шпаккелер [2] предполагал, что слой непосредственной кровли представляет собой зажатую одним концом балку. Следовательно, в зажатом конце должен возникать крутящий момент, а образование последнего влечет за собой некоторую разгрузку в нижней плоскости этого слоя.

Последующими исследованиями [3] не подтверждалось это явление. Во всех случаях отмечалось постепенное уменьшение величины смещения кровли от забоя вглубь целика. Ширина зоны опорного давления изменяется до 200 м, а расстояние до максимума опорного давления – до 15м [4].

Такое модельное представление геомеханики указанных процессов не отражает в полной мере особенностей поведения подрабатываемой породной толщи в условиях перемещающихся в ней искусственных обнажений.

Исследованиями [5-7] выявлено, что в горном массиве снижение напряжений в зоне опорного давления практически всегда сопровождается образованием сети ориентированных трещин в краевой части пласта.

При расположении горных выработок в зонах повышенного горного давления (ПГД) отмечается большая изменчивость интенсивности и протяженности рас-

пространения проявлений опорного давления [8-9]. Выяснилось, что зона ПГД со временем изменяет свое местоположение и перемещается вглубь массива. При этом считается, что разрушается только краевая часть пласта и боковых пород.

Очевидная недостаточность подобного утверждения не только создает трудности в раскрытии механизма протекания анализируемых явлений, но и существенно искажает подходы в выборе принципов управления горным давлением, так как в качестве показателя состояния угленосной толщи принимается лишь величина зоны опорного давления определяемая косвенно, а не физическая предпосылка, обуславливающая ее появление и параметры.

Все это свидетельствует о необходимости проведения исследований состояния горных пород в глубине массива впереди лавы с целью раскрытия физики процессов.

На западном крыле поля шахты им. Героев Космоса была подготовлена одиночная лава № 1162 ориентированная по простиранию угольного пласта C_{11} , залегающего на глубине 358 м. Длина лавы 150 м, длина выемочного столба 1240 м. Отработка пласта – обратным ходом по простиранию. Схема расположения лавы показана на плане выкопировки горных работ (рис. 1).

Промышленный эксперимент проводился в нетронутых горными работами массиве, что подтверждает его чистоту.

Угольный пласт C_{11} в пределах выемочного поля имеет трехпачечное строение, геологическая мощность пласта составляет 0,82 м, выемочная мощность – до 1,2 м. Уголь крепкий, вязкий, коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова составляет $f = 3,0-3,5$.

«Ложная» кровля пласта мощностью 0,05-0,15 м представлена алевролитом тонкогоризонтально-слоистым с обильным угольным детритом. Длина участков с «ложной» кровлей составляет 3-5 м (редко до 10,0 м). Непосредственная кровля пласта по лаве представлена, в основном, песчаником кварцевым на глинистом цементе, мощность песчаника 0,10-0,50 м (редко – 0,5-1,5 м). В целом песчаник непосредственной кровли характеризуется как неустойчивый ($f = 2,0-3,5$). Основная кровля представлена неоднородным массивом из переслаивающихся мало-мощных слоев аргиллита, алевролита, песчаника и характеризуется как легкообрушаемая. Способ управления кровлей – полное обрушение в выработанное пространство. Обрушение кровли производится на посадочные элементы крепи, состоящей из жесткого перекрытия и 4-х гидравлических стоек. Способ выемки угля комбайновый, тип механизированного комплекса 1 КМ-103.

Для решения поставленной задачи впереди одиночной очистной выработки (лава № 1162) на поле шахты им. Героев Космоса пробурены две наблюдательные скважины (№ 744П и № 745П) на расстоянии 218 м от груди забоя отрабатываемого угольного пласта C_{11} на глубине 358 м (рис. 1). Скважина № 744П пробурена в средней части отрабатываемого столба до глубины 363 м. Скважина № 745П пробурена в 14 м от сборного штрека до глубины 635 м. По мере продвижения очистного забоя в сторону наблюдательных скважин в последних выполнялись комплексные геофизические исследования следующими методами:

– боковое каротажное зондирование (БКЗ) в скважинах и комплекс вспомогательных методов геофизических исследований скважин (ГИС) [10];

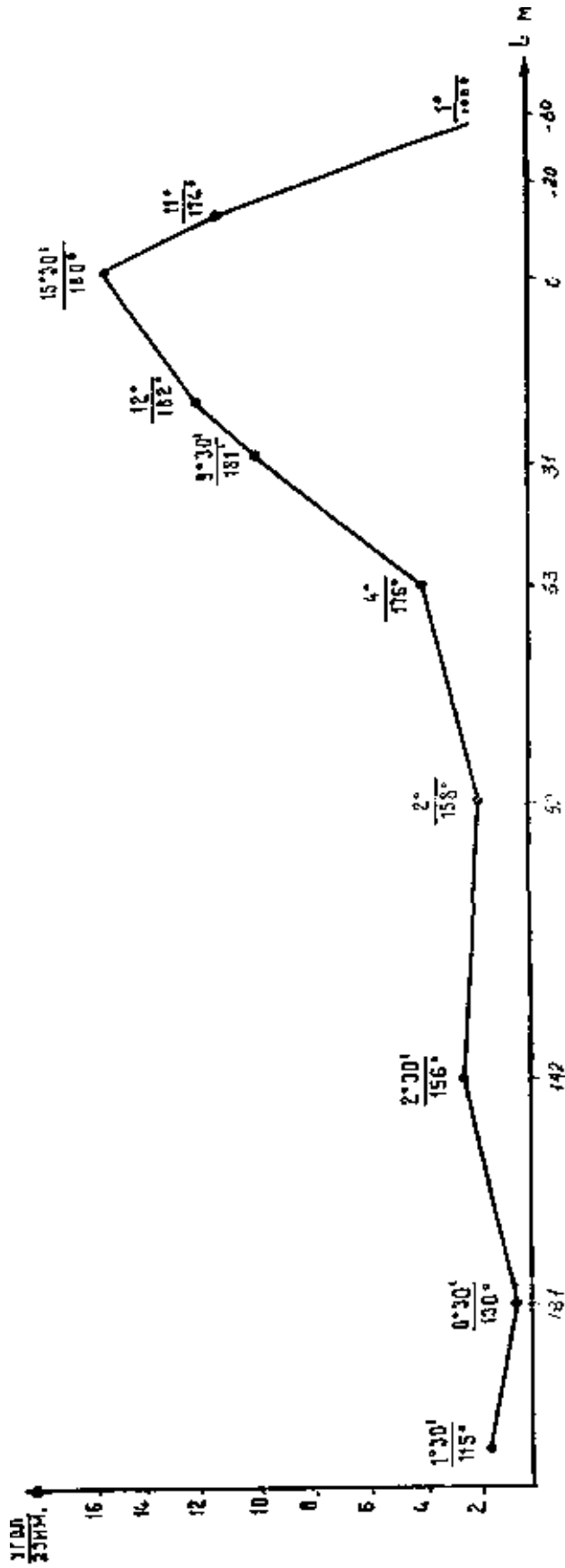
- вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) [10,11,12];
- акустический каротаж [13];
- скважинный акустический телевизор [14].

Рассмотрим данные измерений элементов залегания слоев пород прибором НИУС-1 (наклономер), а именно: угла падения и азимута простирания в зависимости от расстояния до линии очистного забоя. Для этого проследим процесс изменения указанных параметров на примере слоя аргиллита мощностью 1,6 м, залегающего на глубине 165,5 м в кровле отрабатываемого пласта на 193 м по скважине № 744П. Результаты измерений приведены в табл. 1. Данные обработки на графике рис. 2.

Таблица 1 – Данные измерений элементов залегания породного слоя

№ п/п	Расстояние от забоя лавы до точки измерения, м	Угол падения, град.	Азимут простирания, град.
1	208	1°30′	115°
2	181	0°30′	130°
3	142	2°30′	156°
4	92	2°	158°
5	53	4°	176°
6	31	9°30′	181°
7	20	12°	182°
8	-4	15°30′	180°
9	-15	11°	174°
10	-29	1°	129°

Итак, исходный угол залегания пород в нетронутым массиве составлял 1°30′ (первый цикл исследований), а азимут простирания 115°. По мере приближения очистного забоя до наблюдательных скважин наблюдается в них изменение параметров залегания слоев пород. Причем влияние очистных работ на горный массив начинает проявляться на весьма значительном расстоянии от лавы. Так по рассматриваемому слою аргиллита при расстоянии до него линии очистного забоя 181 м, угол залегания пород уменьшился до 0°30′, что свидетельствует о дополнительной пригрузке массива. На расстоянии 142 м до лавы угол залегания породного слоя увеличился до 2°30′, т.е. стал больше, чем в исходном залегании (1°30′), что позволяет считать наличие здесь фазы разгрузки массива по сравнению с уровнем геостатического давления. В следующем (четвертом) цикле исследований соответствующем расстоянию 92 м до забоя лавы, угол залегания породного слоя снова снижается (до 2°), т.е. слой опять попадает в фазу дополнительной нагрузки массива. Следует отметить, что на таком расстоянии от лавы (92-181 м) наблюдаемые колебательные изменения угла залегания пород имеют незначительные величины превышения относительно исходного значения (от ± 0°30′ до ± 1°), что, кстати, выше предела погрешности измерения более чем в 2 раза [15]. Это свидетельствует о том, что здесь массив пород под воздействием очистного забоя работает в упругом режиме.



Скважина 744П; аргиллит алевролитистый; $H = 165,5$ м; $m = 1,6$ м

Рис. 2 – График изменения параметров залегания породного слоя в зависимости от расстояния до лавы

Существенные изменения состояния породного массива начинают наблюдаться при подходе лавы на расстоянии около 70 м, поскольку здесь угол залегания уже не возвращается к своей первоначальной величине, а постоянно возрастает по мере приближения очистной выработки. Так, на расстоянии 53 м от лавы угол залегания пород резко увеличился до 4° , что в 2,7 раза больше первоначального его значения, на расстоянии 31 м до $9^\circ 30'$ (в 6,3 раза), а на расстоянии 20 м до 12° (в 8 раз). Аналогичные данные изменения угла залегания пород четко прослеживаются и в других слоях литотипов (рис. 2). Таким образом, на основании полученных данных измерения параметров залегания пород следует, что при подходе лавы на расстоянии порядка 70 м наблюдаются необратимые деформационные процессы, т.е. породный массив разрушается по определенной закономерности. Следует отметить, что азимут простираения также существенно изменяется (на 50° - 60° и более).

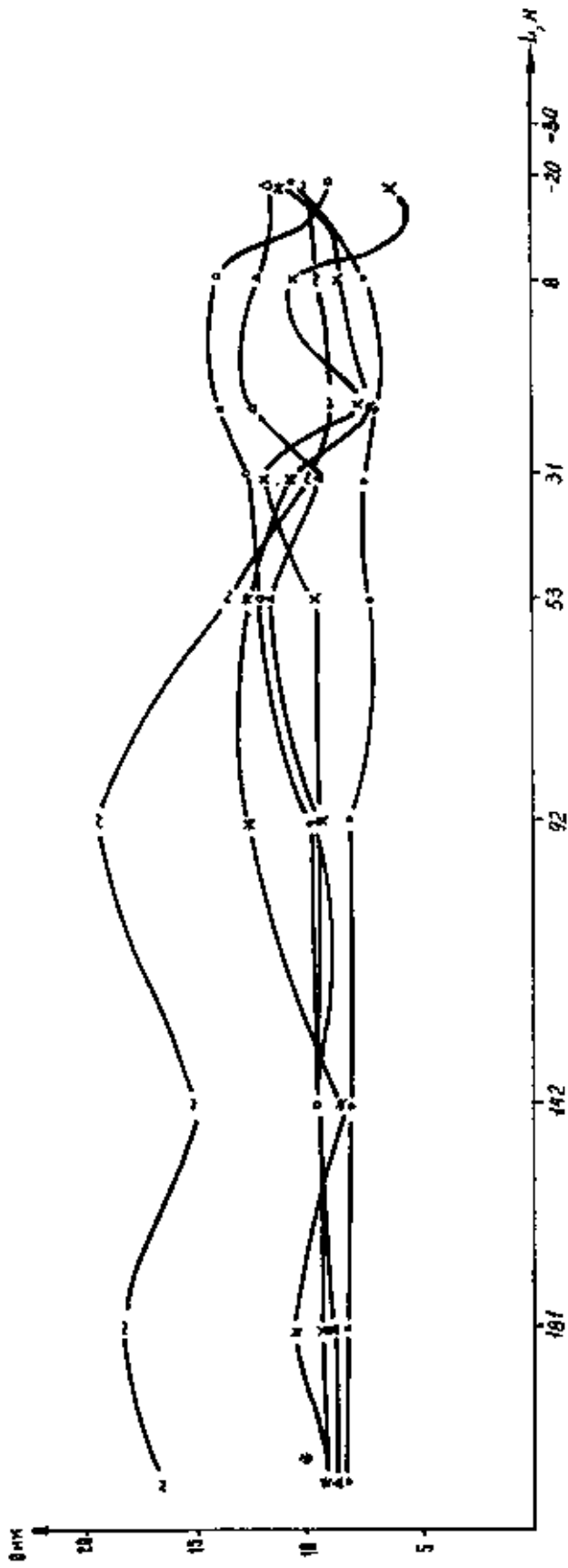
При подсечении скважины и уходе лавы более чем на 30 м, угол падения пород составляет 1° и азимут 129° , т.е. происходит опускание пород кровли и слои вышележащей толщи практически занимают первоначальное положение. Такие же изменения залегания пород происходят и ниже (в почве) отработываемого угольного пласта, но менее интенсивно.

На основании полученных данных измерений параметров залегания пород установлено, что впереди лавы (расстояние 90-180 м) вначале происходит волнообразное изменение угла залегания слоев пород без нарушения их сплошности. Ближе к лаве (расстояние 70-80 м) прорабатываемый массив начинает расслаиваться, т.е. становится нарушенным. При незначительных изгибах вначале нарушаются межслоевые связи, а при изгибах 5 - 10° и более в слоях литографических разностей образуются внутрислоевые, дополнительно возникающие, вертикальные трещины.

Все это подтверждает образование перемещающихся зон разгрузки и пригрузки впереди лавы с последующим образованием перемещающейся зоны разрушения породного массива, кроме того, наблюдается чередование зон разрыхленных и уплотненных пород.

Рассмотрим теперь данные измерений электрофизических свойств пород, измеренные комплексом ГИС и комплексом зондов БКЗ на примере того же слоя аргиллита мощностью 1,6 м, залегающего на глубине 165,6 м (скважина № 744П) в зависимости от расстояния до линии очистного забоя. Данные результатов обработки представлены на рис. 3.

Рассмотрим изменение кажущегося электрического сопротивления (ρ_k), измеренное зондами размером 0,2 м и 0,4 м на расстоянии 60-70 м от забоя лавы. Значение ρ_k по зонду 0,2 м изменяется в пределах 15-20 % (5-6,5 Ом·м) от первоначального ρ_k , измеренного на расстоянии от забоя лавы 208 м (8,0 Ом·м). Значение ρ_k , измеренное зондом 0,4 м, на расстоянии от лавы 35 м возрастает на 70-80 % (12 Ом·м), а затем, на расстоянии 20 м от забоя лавы уменьшается на 30-40 % (7,0 Ом·м). При подсечении лавой скважины сопротивление пород возрастает, а при отходе лавы сопротивление пород падает и составляет 10,5 Ом·м



Размеры зондов: - ● - 0,2 м; - X - 0,4 м; - ○ - 1,1 м; - Δ - 2,25 м; - * - 4,0 м; - ~ - 8,0 м

Рис. 3 – График изменения электрического сопротивления породного слоя (ρ_k) в зависимости от расстояния до лавы: скважина 744 П; аргиллит алевролитистый; $H = 165,5$

на удалении 4 м и 5,54 Ом·м на удалении 12 м. А при отходе лавы на 20 м сопротивление пород возрастает до 6,5 Ом·м, т.е. после разуплотнения пород (расслоения, образования трещиноватости) вновь происходит уплотнение (консолидация) пород за счет опускания и пригрузки вышележащими слоями пород.

Зонды размером 1,0 м и 2,0 м начинают регистрировать изменение сопротивления пород на расстоянии около 90 м от забоя лавы. Кажущееся электрическое сопротивление (ρ_k) пород в пределах расстояния до лавы 90-50 м по обоим зондам возрастает от 7-8 Ом·м до 11,5 Ом·м, что характеризует зону повышенного давления. При приближении забоя лавы на 30 м происходит медленное увеличение сопротивления по метровому зонду до 12,5 Ом·м, а по двухметровому зонду уменьшение сопротивления до 9,0 Ом·м. При подходе лавы на 20 м наблюдается увеличение сопротивления по метровому зонду до 13,5-14,0 Ом·м, по двухметровому зонду до 10-12,5 Ом·м. Такие же повышенные сопротивления пород сохраняются до самого подсечения скважины очистным забоем, что свидетельствует о максимальном проявлении опорного давления.

При подсечении скважины и отходе лавы на расстояние до 20 м сопротивление по метровому зонду падает до 8,75 Ом·м, а по двухметровому – незначительно уменьшается до 11,5 Ом·м. При отходе лавы более 30 м наблюдается закрытие трещин расслоения при подработке скважины и посадке основной кровли.

Наиболее существенно чувствительны на проявление опорного давления лавы четырехметровый и восьмиметровый зонды комплекса БКЗ. Это объясняется большей глубиной исследования вглубь массива от стенки скважины, так глубина захвата (зона исследования) для четырехметрового зонда составляет 2 м, а для восьмиметрового зонда соответственно 4 м вглубь массива от стенки скважины. В исходном состоянии нетронутого массива измеренное четырехметровым зондом кажущееся электрическое сопротивление пород $\rho_k^{4м}$ составляет 8,0 Ом·м, а измеренное восьмиметровым зондом $\rho_k^{8м}$ – 18,75 Ом·м.

Теперь рассмотрим изменения ρ_k по мере приближения линии очистного забоя к наблюдательной скважине. Заметим, что увеличение электрического сопротивления по сравнению с исходным его значением соответствует пригрузке породы, а соответственно, снижение электрического сопротивления – разгрузке массива. На расстоянии 181 м от лавы $\rho_k^{4м}$ увеличилось до 10,5 Ом·м (+31%), а $\rho_k^{8м}$ – до 20,75 Ом·м (+11%), что свидетельствует о дополнительной пригрузке массива. При расстоянии 142 м до лавы $\rho_k^{4м}$ снижается до 8,5 Ом·м, а $\rho_k^{8м}$ – до 17,5 Ом·м и это позволяет считать наличие здесь фазы разгрузки массива. При расстоянии до лавы 92 м сопротивление пород опять повышается: $\rho_k^{4м}$ до 12,5 Ом·м, а $\rho_k^{8м}$ до 21,5 Ом·м, т.е. слой породы опять находится в фазе дополнительной нагрузки массива. То есть наблюдаемые колебательные изменения кажущегося электрического сопротивления пород свидетельствуют о волновом характере распространения опорного давления впереди лавы. На расстоянии от линии очистного забоя менее 70 м электрическое сопротивление пород резко снижается, так $\rho_k^{8м}$ до 8,5-13,5 Ом·м, т.е. в 1,5-2,2 раза. Данное обстоятельство свидетельствует, что здесь имеет место разрушение массива по-

род, поскольку нарушенные породы, заполняясь минерализованной пластовой водой, имеют существенно меньшее значение электрического сопротивления по сравнению с ненарушенными породами. Выделенная зона разрушения массива пород на расстоянии менее 70 м от лавы, подтверждается и другими методами комплекса ГИС.

Дальше при подработке скважины и уходе лавы на 4 м сопротивление практически не изменяется. Незначительный рост сопротивления пород наблюдается до 10,0 Ом·м за счет, как уже отмечалось выше, закрытия трещин расслоения в результате пригрузки вышележащими слоями пород. Аналогичные результаты получены и для других породных слоев.

Таким образом, изменения электрического сопротивления пород под влиянием опорного давления происходит волнообразно – зона повышенного давления сменяется зоной разгрузки. Волнообразное проявление опорного давления проявляется при расстоянии забоя лавы более 70-75 м. При этом в массиве наблюдаются упругие волнообразные деформации. В интервале расстояния 75 м – 0 м происходят неупругие (необратимые) деформации, т.е. массив претерпевает разрушение. Данные, полученные по измерениям электрического сопротивления, подтверждают выводы, полученные по измерению элементов залегания пород, и свидетельствуют об образовании перемещающихся нарушенных зон в породах.

На основе полученных знаний при ведении горных работ необходимо учитывать нарушенность сплошности горного массива, которая должна проявляться усилением горного давления на крепи горных выработок при ведении очистных и подготовительных работ. Наличие нарушенных зон приведет к образованию коллекторов для перемещения воды и газа между слоями пород. Циклизация в формировании перемещающихся нарушенных зон в породных массивах, связанная с изменением геомеханического состояния пород и образованием в них комплексобразующих скрытых полостей, которые обуславливают миграционно-транзитные и аккумулярующие эффекты в газодинамике и гидродинамике продуктивных толщ, представляет собой важнейшую предпосылку при моделировании сложных природно-техногенных систем. Совокупный учет этого явления с закономерностями формирования мульд сдвижения подработанной земной поверхности при выемке угольных пластов, позволит разработать прогрессивные технологические решения по производству работ по дегазации угольных пластов, как для уменьшения газовыделения при ведении очистных работ, так и для попутной добычи метана. Прогнозирование водопритоков при пересечении нарушенных зон открывает новые перспективы использования этого явления при проектировании горных работ.

Таким образом, установленное явление позволяет по новому подойти к проектированию подземных горных работ, учитывая при этом наличие в породном массиве не только зон повышенного горного давления, но и наличие нарушенных зон, которые перемещаются при образовании в горных породах волны изменения напряженного состояния (Открытие № 188).

Полученные результаты весьма важны для моделирования литолого-

геомеханических систем при освоении месторождений полезных ископаемых и вскрывают актуальность и перспективность развития новых научных направлений, связанных с грависинергетикой породного массива, механикой контактирующих слоев литосферных толщ и криптомакроцикловой механикой деформирующихся слоистых породных массивов, подверженных воздействию свободной движущейся поверхности в горном массиве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ростовцев Д.С. Управление кровлей при разработке пологопадающих пластов каменного угля. - Киев: Научно-техническое из-во Украины, 1935 г.
2. Prof. Dr-ing. Spucheler. Der Durchauf der Kohlenstoss "Gluckauf", 1929. - № 51.
3. Давидянц В.Т. Движение боковых пород при разработке угольных пластов в Донецком бассейне. - Углетехиздат, 1948 г.
4. Борисов А.А. Механика горных пород. - М.: Недра, 1980 г.
5. Норель Б.К. Изменение механической прочности угольного пласта в массиве. - М.: Наука, 1983 г.
6. Линьков А.М. Эффективные методы решения задач об опорном давлении // Физ.-техн. пробл. полезных ископаемых. - 1975. - №6 - С. 3-10.
7. Зорин А.Н., Колесников В.Г. Влияние динамики горного давления на эффективность региональных противовыбросовых мероприятий // Уголь Украины. - 1988. - №11. - С. 34-35.
8. Усаченко Б.М., Кириченко В.Я., Шмиголь А.В. Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт Западного Донбасса. - Обзор // ЦНИЭИуголь. - М., 1992. - 168 с.
9. Временное методическое руководство по записи и интерпретации диаграмм бокового каротажа с использованием аппаратуры БКР-2.
10. Гальперин Е.П. Вертикальное сейсмическое профилирование. - М.: Недра, 1982. - 342 с. Министерство геологии УССР, трест "Днепрогеофизика", Днепропетровск, 1972. - 16 с.
11. Номоконова В.П. Сейсморазведка. - М.: Недра, 1990. - Т.1. - 334 с.; Т.2. - 398 с.
12. Авербух А.Г. Интерпретация материалов сейсморазведки преломленными волнами. - М.: Недра, 1975 - 222 с.
13. Методическое руководство по исследованию угольных скважин методом акустического каротажа. - ВНИИГИС, Октябрьский, 1981. - 74 с.
14. Телевизор скважинный акустический (САТ), техническое описание и инструкция по эксплуатации (АЯЖ 3.838.000 ТО).
15. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований в скважинах. Мингео СССР. - М.: Недра, 1985. - 212 с.