

6. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. — Л.: Судпромгиз. — 1961. — 252 с.

7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. — М.: Наука. — 1969. — 576 с.

УДК 622.83

В.В. Левит

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ПОРОД И ТИПА КРЕПИ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕСИСТЕМЫ «КРЕПЬ - МАССИВ» В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛАХ

Существенной специфической особенностью, которую необходимо учитывать при проходке и креплении вертикальных стволов угольных шахт является литолого-геомеханическая неоднородность пород вскрываемых продуктивных толщ. Анализ данных показывает, что резкая неоднородность проявляется в посткарбоновой и карбоновой частях геологических разрывов угленосных толщ Донбасса. Посткарбоновые отложения, имеющие мощность до 100 – 150 м, как правило, представлены суглинками, глинами, рыхлыми песчаниками и имеют незначительную прочность (5 – 20 МПа), низкое сцепление. Зачастую в этой части разреза преобладают сыпучие и пластичные породы, развиты зоны дробления и замещения пород. Карбоновая часть характеризуется как литологической неоднородностью, вызванной чередующимися слоями геоматериалов (уголь, породы), так и механической, - обусловленной их разнопрочностью. Породы карбоновых отложений, как известно, представлены преимущественно аргиллитами, алевролитами, глинистыми и песчаными сланцами, песчаниками, реже известняками, которые по прочности иногда отличаются на два порядка.

В связи с этим проблема устойчивости глубоких вертикальных стволов требует решения трех главных взаимосвязанных задач: оценки литолого-геомеханических условий проходки, изучения и описания геомеханических процессов вблизи стволов с учетом структурно-механических свойств пород, обоснования конструктивно-технологических решений по управлению состоянием системы «крепь – породный массив», учитывающих изменение указанных свойств пород во времени и пространстве. О том, что эти задачи далеки от своего решения свидетельствуют исследования НИИОМШС [1]. Выполненный анализ факторной значимости в нарушениях крепи стволов

показал, что доля непредвиденных сложных горно-геологических условий составляет 32,1%. Доля факторов, характеризующих отклонения от нормативных требований и технологий эксплуатации крепи, составляет 33,6%. Почти 50% обследованных сопряжений ствол – горизонт имеют повреждения крепи, причем 40% сопряжений деформированы в связи с неустойчивостью слабых пород, в которых они заложены. Деформации сопрягающихся выработок, заложенных в глинистых сланцах, в 1,5 раза чаще, чем в других породах [1]. Авторы справедливо указывают на неадекватность условий эксплуатации стволов принимаемым при их проектировании в силу недостаточности и неточности информации о свойствах пород пересекаемых толщ. Действительно, принимаемая средневзвешенная прочность пород по глубине ствола, используемая для расчета критерия устойчивости пород вертикальной выработки [2] не позволяет дифференцированно оценивать условия поддержания ствола и, как правило, является завышенной, поэтому при выборе типов крепи преобладают I и II категории устойчивости. Это на период проектирования уменьшает первоначальную строительную стоимость, но в период эксплуатации ствола существенно повышает текущие затраты. Причиной этого является неучет зон со слабыми, рыхлыми или пластичными породами. Здесь уместно напомнить известный принцип Парето, что внутри данной группы или множества отдельные малые части обнаруживают намного большую значимость, чем это соответствует их относительному весу в этом множестве. Полагаем, что оценка структурно-механических характеристик пересекаемой стволом толщи должна осуществляться по зонам и с учетом приведенной прочности, которая более чувствительна к наличию слабых пород в толще. Неточное представление о свойствах пород толщи вызывает некорректное построение рабочих гипотез о протекании геомеханических процессов вблизи стволов. Поэтому важным является проведение шахтных экспериментов по оценке взаимодействия системы «крепь ствола – массив» с учетом свойств пород. Поскольку результаты, полученные в одних условиях бывают неприемлемы для других, целесообразно наблюдения проводить в различных условиях эксплуатации стволов.

Учитывая изложенное, нами проведены комплексные исследования состояния пород приконтурной зоны ствола и его сопряжения с горизонтом, и оценено взаимодействие крепи ствола и окружающего массива. Остановимся на некоторых из них. Характеристика условий экспериментов (параметры

Таблица 1 – Условия проведения шахтных экспериментов

Шахта, ствол	Диаметр в свету (м)	Тол- щина кре- пи, м	Вид крепи	Глубина ствола	Литотип, %		
					П*	ПС	ГС
Прогресс, КС	7,0	0,5	Бетонная, ж/бетонная, тюбинговая		-	-	-
Стаханова, ВС-5	7,5	0,5	Бетонная, ж/бетонная, комбиниро- ванная	1291	25	53	17
Стаханова, ВС-8	7,0	0,5	Бетонная, ж/бетонная, комбиниро- ванная	1277	24	41	25
Заря, ВС-2	6,5	0,4	Бетонная, ж/бетонная	834	39	48	6
Кураховская, КС	8,5	0,5	Бетонная, ж/бетонная, тюбинговая	869,4	27	43	27
Октябрьская, ВС, СС	6,5 7,0	0,5	Бетонная, ж/бетонная, тюбинговая	995	61	14	15
Октябрьская, Зап. ВПС	5,0	0,4	Бетонная, ж/бетонная	1000	38	27	32
Краснолиманская, ВП	8,0	0,5	Тюбинговая (устье ствола)	986	34	37	23
Белозерская, ГС	7,0	0,4	Бетонная, ж/бетонная, тюбинговая	618	26	42	12
Чапаева, ВС	5,5	0,3	Бетонная, ж/бетонная	638	35	55	5

* П – песчаник; ПС – песчаный сланец; ГС – глинистый сланец

стволов, удельный вес пересекаемых ими основных пород) дана в табл. 1. Выбранные условия в достаточной степени характерны для всего Донбасса. Как видно, наиболее характерными породами являются сланцы, удельный вес которых во вскрываемых толщах колеблется в пределах 29-70%, а прочность на сжатие варьирует от 20 до 60 МПа. На базе лабораторных опытов [3] обоснованы критерии оценки взаимодействия системы «крепь – массив» с использованием метода регистрации естественного электромагнитного поля Земли (метод ЕИЭМПЗ), виброакустического спектроанализатора ИСК – 1Ш и электрометрической аппаратуры ШИИС, разработанной в ИГТМ НАН Украины.

Основные результаты измерений в стволах можно резюмировать следующим образом. Методом ЕИЭМПЗ выявлена неоднородность уровня эмиссии по различным направлениям. Концентрация излучения на незакрепленном участке ствола отмечается в секторе между азимутами 300° и 0° (ш. Белозерская) в направлении с юго-востока на северо-запад. Максимум направленности диаграммы интенсивности излучения вытянут по простиранию, а уровень излучения в 2 раза выше, чем по падению ($\alpha = 54^\circ$). Выполненная здесь же вибродиагностика показала наличие явной асимметрии амплитуды колебаний (максимум спектральной плотности во всех полученных спектрограммах имеет стабильное положение в пределах от 500 до 1000 Гц).

Наиболее слабая связь приконтурной зоны с более глубокими слоями пород наблюдается по азимуту 60° ; практически монолитным является породный массив в направлении азимута 210° , что согласуется с данными оценки состояния пород методом ЕИЭМПЗ. Для оценки массива в глубину выполнены электрометрические измерения, которые также подтвердили асимметрию в формировании зоны трещиноватости в породах (рис. 1). Из рисунка видно, что по шпурам 1 и 4 (азимуты 40° , 310°) значительная вариация электросопротивления свидетельствует о повышенной трещиноватости. По шпурам 2 и 3 (восстание) значения кажущегося электросопротивления (ρ_k) стабильны, что подтверждает вывод о монолитности пород по азимутам 135° и 230° . Важно отметить, что ближняя зона нарушенных пород вблизи ствола находится в пределах 0 – 0,6 (0,8) м, за ней прослеживается более уплотненная зона 0,6 – 1,0 м (ρ_k уменьшилось в 1,7 раза), а затем – вторая зона

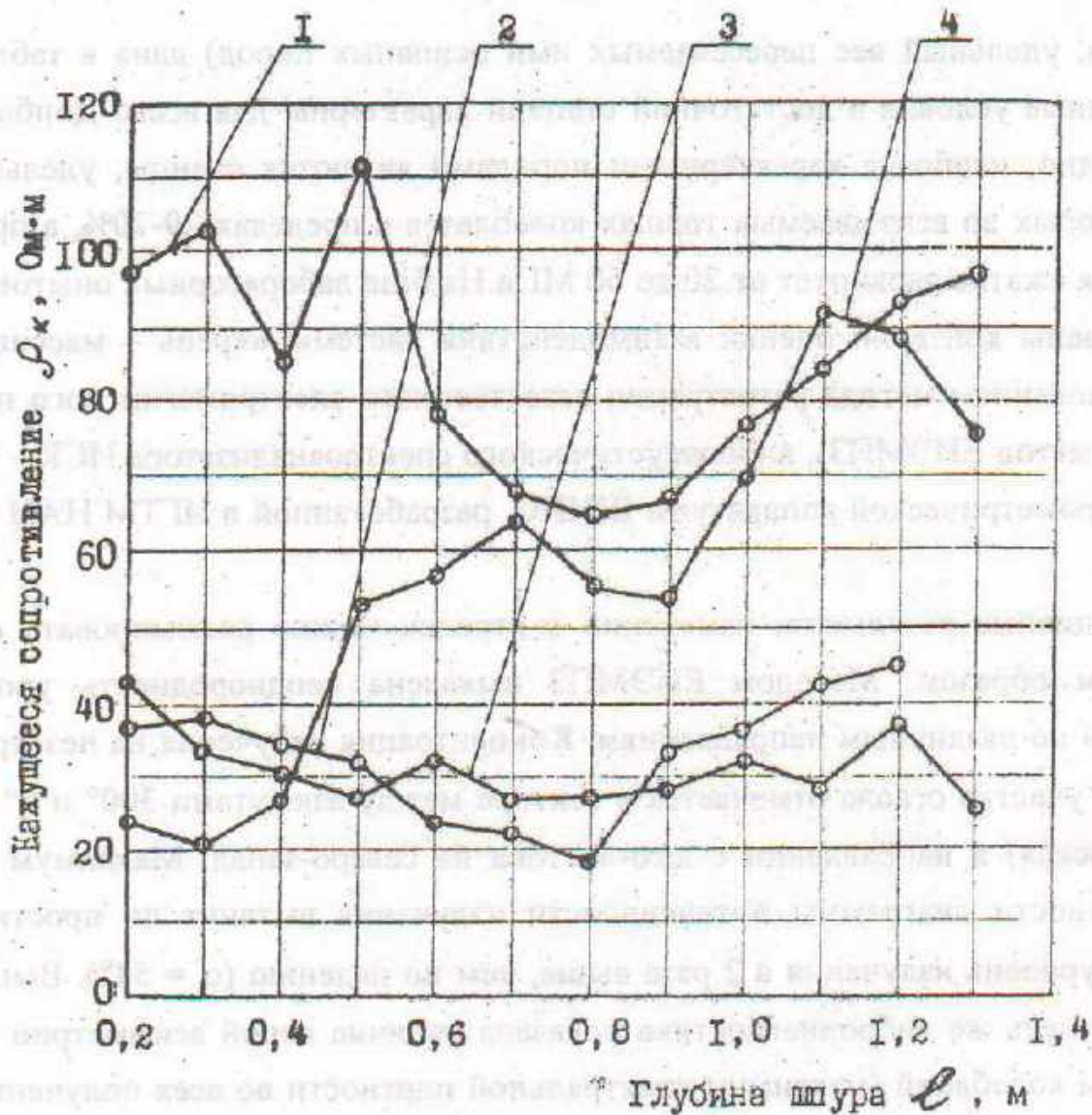


Рисунок 1 – Изменение электросопротивления ρ_k в глубь массива на участке незакрепленного вертикального ствола по шпурам с азимутами:

1 - 40°; 2 - 135°; 3 - 230°; 4 - 310°

трещиноватости (1 – 1,4 м). Достоверность сделанного вывода подтверждается синхронностью изменения ρ_k по 1 и 4 шпурам. Важно подчеркнуть, что на графиках четко выделяются две зоны максимумов ρ_k : 0,4 – 0,5 м и 1,1 – 1,3 м. Полагаем, что это зоны с максимальным трещинообразованием, по которым развиваются отрывные явления. Таким образом, монолитные участки породного массива характеризуются минимальными показателями ρ_k и уровня естественного электромагнитного излучения, а также амплитуды свободных колебаний; макротрещины в массиве являются концентраторами напряжений и вызывают повышенный уровень электромагнитной эмиссии. Совокупное воздействие естественных и технологических факторов уже на незакреплен-

ном стволе формирует асимметрию свойств приконтурных пород по различным направлениям, что вызывает асимметрию нагрузок на крепь.

Исследования взаимодействия системы «крепь – массив» в стволах, закрепленных бетонной, железобетонной и тубинговой крепью позволили установить такие геомеханические особенности.

Применением виброакустики и метода ЕИЭМПЗ оценено состояние крепи, ее связи с массивом, а методом электрометрии оценено состояние приконтурных пород. Практически по всем стволам виброметодом выявлена асимметрия условий контакта крепи с массивом. Участки со слабой связью характеризуются большей амплитудой колебания крепи. Электроизлучения показали, что бетонная крепь на опытных участках не нарушена, а приконтурный массив имеет высокую степень трещиноватости на глубину 1 – 1,4 м. Однако породы в зоне в интервале 0,2 – 1,0 м более однородны ($\rho_k = 18 - 26$ Ом·м), на участке 1,0 – 1,2 м отмечается зона относительного уплотнения массива ($\rho_k = 8 - 16$ Ом·м), а затем прослеживается увеличение ρ_k до величины 28 – 32 Ом·м, что свидетельствует о формировании границы между нарушенной и связно-нарушенной зонами пород. Сравнивая результаты диагностики массива методом ЕИЭМПЗ на участках с прочными и слабыми породами (параметры бетонной крепи аналогичны), укажем на такие особенности. Асимметрии интенсивности излучения подобны и сориентированы в направлении более нарушенного участка (глинистый сланец). Такой же результат получили и на участке незакрепленного ствола. Отсюда практический вывод: бетонная крепь, являясь источником собственного излучения, не экранирует излучение из более глубоких породных слоев. Установлено, что повсеместно более высокая интенсивность излучения при более слабых окружающих ствол породах.

Сравнительные измерения в стволах, где выполнялся тампонаж закрепного пространства, показали, что его применение повысило равномерность нагрузки на крепь по контуру ствола. Амплитуда колебаний крепи на затампонажном участке в 2 – 3 раза ниже, чем на контрольном, что свидетельствует о более плотном контакте крепи с массивом пород. Заметим, что направленность колебаний свободной диаграммы крепи одинакова – максимум вытянут в сторону восстания (ш. Заря). Электрометрическими измерениями выявлено: на контрольном участке зона повышенной трещиноватости (0,6 –

1,2 м) с максимумом ρ_k (110 Ом·м) удалена от контура на 0,8 м от контура породного массива или на расстояние 1,2 м от внутреннего контура крепи. Применение тампонажа обеспечило значительную однородность массиву: если на контрольном участке вариация ρ_k составляла 20 – 110 Ом·м, то на контрольном – 20 – 35 Ом·м. Заметим, что на контрольном участке в этой зоне отмечается минимум ($\rho_k = 18$ Ом·м), что свидетельствует о высоком качестве тампонажных работ по упрочнению массива. Выполненными электроизмерениями в вентиляционном стволе № 5 шахты им. А.Г. Стаханова получены данные о состоянии приконтурных пород при креплении сопряжения (отм. 966 м) бетоном, железобетоном и бетоном с анкерами. Выявлено, что при всех вариантах крепления породы в зоне 0,2 – 0,6 м уплотнены ($\rho_k = 4-10$ Ом·м); в интервале 0,6-1,0 м имеет место тенденция увеличения ρ_k (развитие трещинообразования) с максимумом ($\rho_k = 20$ Ом·м) на глубине 0,9 м. В интервале 1,0-1,4 м на всех участках прослеживается стабилизация ρ_k , однако наибольшее снижение его отмечено на участке закрепленном бетоном и анкерами ($\rho_k = 10-12$ Ом·м), среднее положение занимает участок с железобетоном и наихудшие показатели при применении бетонной крепи.

Оценка взаимодействия тубинговой крепи (ш. Прогресс, Кураховская) с массивом показала, что как и для бетонной крепи, для нее характерна асимметрия контакта с массивом, однако она более выражена для тубинговой. На некоторых участках с тубинговой крепью отмечено значительное понижение частоты максимума спектральной плотности, что свидетельствует о появлении условий для возникновения изгибных колебаний. Это имеет место в случае наличия протяженного участка со слабым контактом крепи, с массивом или при его отсутствии. Особенно это выражено при слабых боковых породах.

Резюмируя изложенное можно заключить: 1) установлено влияние свойств пород и типа крепи на взаимодействие системы «крепь – массив» в вертикальных стволах; 2) выявлен зональный характер деформационных процессов в породах вблизи стволов, определяющий асимметрию и ориентацию нагрузок на крепь; 3) на базе разработанной критериальной базы геофизической диагностики системы оценена работоспособность различных типов (бетонная, железобетонная, комбинированная с анкерами), установлена предпочтительность железобетонной крепи для условий слабых пород с

ожидаемыми асимметричными нагрузками; оценены эффекты снижения нагрузок на крепь при тампонаже приконтурных пород и пород в удаленных зонах дезинтеграции с высокой трещиноватостью. Очевидно, что технологические преимущества тюбинговой крепи могут быть обеспечены при формировании равномерной нагрузки по контуру путем включения в охранную конструкцию податливых элементов и тампонажа пород в зонах дезинтеграции.

Полученные результаты положены в основу аналитических исследований и обоснования конструктивно-технологических решений крепления вертикальных стволов. Разработка последних, в первую очередь, должна быть связана с учетом разноскоростной деформируемости слабых и прочных пород и управляемого изменения концентрации напряжений вокруг ствола [4], что можно контролировать по формированию зоны неупругих деформаций в приконтурном массиве изложенными методиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косков И.Г., Прагер В.А., Будник А.В. Перспективы поддержания вертикальных стволов шахт // Уголь Украины. – 1994. - № 9. – С. 47 – 49.
2. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки // Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 32 с.
3. Левит В.В. Результаты диагностики состояния вертикальных стволов методом электрометрии // Уголь Украины. – 1997. - № 6. – С. 50 – 53.
4. Дрибан В.А., Кулибаба С.Б. Проблемы охраны шахтных стволов // Уголь Украины. – 1993. - № 12. – С. 35 – 37.

УДК 550.3:622.83;622.3.016

А.А.Яланский

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА В ШАХТАХ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Специфика условий шахт и подземных сооружений, сложность и недоступность горных пород как объекта измерений требует создания принципиально новых методов, способов и средств геофизического контроля. Их раз-