

УДК 622.272

А.В. Беликов, В.В. Беликов

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СЛАБЫХ КОНТАКТОВ
НА РАЗМЕРЫ ЗОНЫ НЕУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ
В ПОРОДАХ КРОВЛИ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК МЕТОДОМ
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Приведены результаты исследования влияния слабых контактов и других горно-технических факторов на размеры зоны неупругих деформаций в породах кровли и определены требуемые параметры крепи и охраны выработок.

Большой объем теоретических и экспериментальных работ, выполненных в России и за рубежом, позволил обосновать требования и создать нормативную Инструкцию [1] для определения смещений пород кровли и выбора параметров анкерной крепи, крепи усиления и охранных конструкций в повторно используемых выемочных выработках.

Однако при выполнении требований [1] к параметрам крепей и охранных конструкций в выемочных выработках с прочными породами кровли (50-130 МПа), содержащими слабые контакты (углистые и минеральные прослойки, трещины и зеркала скольжения), отмечается значительное количество случаев завалов выработок и разрушения анкерных крепей и охранных конструкций [2], что недопустимо снижает безопасность и эффективность поддержания выемочных выработок.

По указанным причинам изучение влияния слабых контактов на образование зоны неупругих деформаций кровли и обоснование для этих условий необходимых параметров анкерной крепи, крепи усиления и охранных конструкций, обеспечивающих эффективное и безопасное поддержание выемочных

штреков с минимально возможными затратами является весьма актуальной задачей.

В результате обобщения исследований ВНИМИ, ШахтНИУИ и других организаций в таблице 1 приведены значения величины сцепления и углов внутреннего трения по слабым контактам и в массивных породах, которые характерны для условий прочных пород кровли угольных пластов Российского Донбасса.

Эти данные показывают, что сцепление по слабым контактам на один-четыре порядка ниже, чем в массивных монолитных породах, не содержащих контакты. Углы внутреннего трения по поверхностям ослабления также значительно (в 1,3-3 раза) ниже, чем в массивных породах. Из данных табл. 1 следует, что наиболее слабыми контактами в осадочных породах являются зеркала скольжения и углистые прослойки. При прочих равных условиях именно указанные контакты будут расслаиваться в первую очередь.

Шахтными исследованиями практически невозможно определить напряженно-деформированное состояние и величину зоны неупругих деформаций слоистого породного массива, содер-

Таблица 1

Значения величины сцепления и углов внутреннего трения по протяженным поверхностям ослабления и в массивных породах

Тип слабых контактов	Сцепление, кПа, от-до (среднее)	Угол внутреннего трения, град, от-до
Зеркала скольжения:		
- в аргиллите	0,5-20 (9)	9-12
- в алевролите	6-63 (14)	9-14
- в песчанике	15-90 (65)	10-16
Углистые прослои:		
- в аргиллите	6-39 (14)	12-14
- в алевролите	6-243 (54)	12-17
- в песчанике	27-1680 (810)	13-18
Растительные остатки:		
- в аргиллите	9-480 (225)	16-24
- в алевролите	6-1140 (450)	18-25
- в песчанике	450-1800 (1470)	18-26
Мелкий растительный детрит:		
- в аргиллите	45-1240 (286)	22-24
- в алевролите	1900-2400 (2130)	25-30
- в песчанике	930-4320 (1980)	27-32
Кальцитовый или другой минеральный прослоек:		
- в алевролите	990-2660 (1980)	20-25
- в песчанике	2000-4320 (3000)	20-25
Неровные шероховатые тектонические трещины:		
- в аргиллите	16-369	18-23
- в алевролите	89-1630	20-25
- в песчанике	295-2240	22-32
Массивная однородная порода:		
- аргиллит с $\sigma_c = 50-70$ МПа	13000-30000	20-26
- алевролит с $\sigma_c = 50-110$ МПа	18000-40000	25-32
- песчаник с $\sigma_c = 80-190$ МПа	30000-75000	28-38

жащего и не содержащего контакты при различных глубинах разработки вне зоны и в зоне влияния очистных работ за первым очистным забоем при различном сопротивлении анкерной крепи и крепи усиления, а также плотности установки и жесткости различных охранных конструкций. Решение указанной задачи аналитическими методами также практически невозможно.

Проведенный анализ различных методов моделирования показал, что для решения этой задачи наиболее целесообразно применение метода конечных элементов (МКЭ).

Для целей моделирования применяли современную лицензионную про-

грамму Cosmosworks, позволяющую производить моделирование напряженного породного массива методом МКЭ и создавать наглядную визуализацию результатов расчета.

При моделировании приняты горно-геологические и горнотехнические условия наиболее характерные для условий разработки антрацитового пласта k_2 , на который приходится более 50 % объема добычи на шахтах Российского Донбасса.

Моделировалась подготовительная выработка со смешанной подрывкой пород кровли и почвы, пройденная по пласту антрацита мощностью 1,3 м и с углом падения 0° .

Таблица 2

Литологический состав, мощность слоев и физико-механические свойства моделируемой толщи пород

Тип слоя	Литологический состав	Мощность слоя, м	Прочность слоя на сжатие, МПа	Модуль упругости, $E \times 10^5$, МПа	Коэффициент Пуассона	Модуль сдвига, $G \times 10^5$, МПа
почва	песчаник	18,0	120	3	0,12	1,5
почва	песчаный сланец	0,8	90	1,5	0,22	0,7
пласт	антрацит	1,3	30	0,3	0,40	0,18
кровля	глинистый сланец	0,8	50	0,8	0,30	0,5
кровля	глинистый сланец	0,4	50	0,8	0,30	0,5
кровля	прослой антрацита	0,05	30	0,3	0,40	0,18
кровля	глинистый сланец	0,4	50	0,8	0,30	0,5
кровля	прослой антрацита	0,05	30	0,3	0,40	0,18
кровля	песчаный сланец	0,5	70	1,2	0,25	0,6
кровля	прослой антрацита	0,05	30	0,3	0,40	0,18
кровля	песчаный сланец	0,5	70	1,2	0,25	0,6
кровля	прослой антрацита	0,05	30	0,3	0,40	0,18
кровля	песчаник	13	110	2,5	0,14	1,3

Принятая форма сечения выработки – прямоугольная с плоской кровлей. Ширина выработки в проходке составляет 5,2 м, а высота – 2,9 м. Литологический состав, мощность слоев и физико-механические свойства моделируемой толщи пород приняты по результатам бурения скважин и определения физико-механических свойств пород, выполненных ОАО «Донбассгеология» и ОАО «ШахтНИУИ», и приведенных в табл. 2.

При расчете моделей со слабыми контактами принимали, что в песчаниках основной кровли и почвы на всю их мощность чередуются слои песчаника толщиной 1,95 м и прослой антрацита толщиной 0,05 м. Всего до высоты 3,0 м в кровле насчитывалось 4 слабых контакта, что соответствует среднему количеству слабых контактов в кровле штреков, пройденных по пласту K_2 . При расчете модели без слабых контактов они заменялись аналогичным по мощности слоем породы соответствующего литологического состава. При

расчете моделей без слабых контактов и со слабыми контактами принимали, что в песчаниках основной кровли и почвы на всю их мощность чередуются слои песчаника толщиной 1,95 м и прослой антрацита толщиной 0,05 м.

Программа Cosmosworks позволяет рассчитать для упругой модели напряжения вокруг выработки по различным осям в породах кровли и определить с применением критерия Мора-Кулона размеры зоны неупругих деформаций при различном сопротивлении крепи и модуле упругости и плотности установки охранных конструкций.

Методикой предусматривалось проведение двух серий расчетов.

В первой серии расчетов исследовалось влияние глубины заложения штрека (100; 600 и 1200 м) и сопротивления анкерной крепи и крепи усиления (для 7-ми значений: в пределах от 0 до 595 кПа) на напряженно-деформированное состояние и размеры зоны неупругих деформаций (ЗНД) пород кровли, не содержащей сла-

Таблица 3

Высота зоны неупругих деформаций кровли, при отсутствии и наличии слабых контактов, вне зоны влияния очистных работ в зависимости от глубины заложения выработки и сопротивления анкерной крепи и крепи усиления

Суммарное сопротивление крепи, кПа	Высота ЗНД в породах кровли, м:					
	при глубине заложения выработки, м:					
	100		600		1200	
	слабые контакты		слабые контакты		слабые контакты	
	нет	есть	нет	есть	нет	есть
0	0	0	0	2,0	2,0	2,7
100	0	0	0	1,9	0,9	2,1
200	0	0	0	1,2	0	1,9
300	0	0	0	1,1	0	1,9
407	0	0	0	0,4	0	1,9
488	0	0	0	0,3	0	1,9
595	0	0	0	0,2	0	1,9

бые контакты и содержащей их, при расположении выработки вне зоны влияния очистных работ (84 варианта расчетов).

Во второй серии расчетов определялось влияние сопротивления анкерной крепи и крепи усиления (для 3-х значений: 200; 400 и 595 кПа) при глубине разработки 600 м на напряженно-деформированное состояние кровли, не содержащей слабые контакты и содержащей их, на величину ЗНД в зоне влияния очистных работ за первой лавой при следующих вариантах используемых охранных конструкций:

- при охране бутокострами (1 бутокостер на 1 м длины штрека);
- при охране тумбами БДБ (1 тумба на 1 м длины штрека);
- при охране тумбами БДБ (3 тумбы на 1 м длины штрека);
- при охране угольным целиком шириной 5 м (всего 36 вариантов расчетов).

Результаты расчетов высоты ЗНД в породах кровли выработки, не содержащей слабые контакты, и поддерживаемой вне зоны влияния очистных работ, приведенные в табл. 3, показывают, что при глубине заложения выработки от 100 до 1200 м и сопротивлении анкерной крепи (в пределах 0-595 КПа) зона неупругих

деформаций в породах кровли, как правило, отсутствует.

Образование ЗНД высотой 0,9-2,0 м отмечается только при глубинах разработки 1200 м и при сопротивлении анкерной крепи менее 100 кПа. При сопротивлении анкерной крепи 150-200 кПа высота зоны неупругих деформаций даже при глубине разработки 1200 м уменьшается до нуля.

Полученные данные показывают, что при отсутствии в кровле слабых контактов и глубине разработки до 600 м целесообразно применение анкерной крепи с расчетным сопротивлением 120 кПа и с длиной анкеров 1,8-2,0 м. При глубине заложения выработок 600-1200 м в данных условиях целесообразно применение анкерной крепи длиной 2 м и с расчетным сопротивлением 150-200 кПа.

Данные расчетов высоты ЗНД пород кровли со слабыми контактами вне зоны влияния очистных работ показывают, что при глубине заложения выработок 100 м и наличии прочных пород, зона ЗНД отсутствует при любом сопротивлении анкерной крепи в пределах от 0 до 595 кН.

При глубине заложения выработки 600 м при любом сопротивлении анкерной крепи (от 0 до 595 кПа) в поро-

Таблица 4

Высота ЗНД в кровле в зоне за первым очистным забоем при отсутствии/наличии слабых контактов и в зависимости от типа и параметров охранной конструкции и суммарного сопротивления анкерной крепи и крепи усиления

Охранная конструкция	Высота ЗНД в кровле штрека (расстояние до неё от кровли штрека), м					
	при сопротивлении крепи в выработке, кПа:					
	200		400		595	
	слабые контакты		слабые контакты		слабые контакты	
	нет	есть	нет	есть	нет	есть
1 буюкостер	0 (1,2)	30,6	0 (1,4)	30,6	0 (2,1)	30,6
1 тумба БДБ	0 (1,5)	10,7	0 (1,9)	10,7	0 (2,7)	10,5
3 тумбы БДБ	0 (6,2)	10,2	0 (6,2)	10,0	0 (7,1)	10,0
угольный целик шириной 5 м	0 (17,0)	1,8	0 (17,4)	1,8	0 (17,9)	1,5

дах кровли выработки образуется ЗНД. Однако при увеличении сопротивления анкерной крепи до 200 кПа высота ЗНД уменьшается с 2,0 до 1,2 м, а при увеличении сопротивления крепи до 595 кПа до 0,2 м.

В связи с изложенным, при наличии слабых контактов в породах кровли и глубине заложения выработок до 600 м необходимо применять для крепления выработок сталеполимерную анкерную крепь с длиной анкеров не менее 2,2 м и с расчетным сопротивлением не менее 200-240 кПа.

При наличии слабых контактов в кровле и глубине заложения выработки 1200 м при любом сопротивлении анкерной крепи (до 595 кПа) в кровле выработки наблюдается зона неупругих деформаций. При расчетном сопротивлении анкерной крепи от 200 до 595 кПа высота ЗНД остается постоянной и составляет не менее 1,9 м.

При поддержании выемочных выработок со слабыми контактами в кровле на глубинах от 600 до 1200 м вне зоны влияния очистных работ необходимо применять для крепления выработок сталеполимерную анкерную крепь с длиной анкеров не менее 2,4 м и с сопротивлением не менее 240-300 кПа.

В табл. 4 приведены результаты расчетов высоты ЗНД при глубине 600 м и

породах кровли, не содержащих слабые контакты и обрушающихся над выемочным пространством в зоне за первым очистным забоем, в зависимости от типа и параметров охранной конструкции и суммарного сопротивления анкерной крепи и крепи усиления в выемочной выработке в пределах от 200 до 595 кПа.

Они показывают, что в этом случае нижние слои непосредственной кровли не разрушаются. При этом ЗНД располагается на удалении от 1,2 м до 17,9 м от кровли выработки по мере увеличения несущей способности и жесткости охранной конструкции. Сопротивление крепи штрека в пределах от 200 до 595 кПа существенного влияния на высоту ЗНД в этой зоне не оказывает.

При использовании для охраны выработок наиболее широко применяемых на шахтах Российского Донбасса тумб из деревянно-бетонных блоков (БДБ), объемном весе пород кровли 27 кН и образовании ЗНД на высоте 6,2-7,1 м от кровли штрека, в выработке должна устанавливаться крепь усиления с несущей способностью не менее 100-150 кПа. Крепь усиления может состоять из стоек трения с замками ЗПК или при малом сроке службы выработки и защите от гниения из деревянных стоек диаметром не менее 22-24 см.

Таблица 5

Рекомендуемые параметры крепления и охраны повторно используемых выемочных выработок с пролетом 4,5-5,5 м и с прочными кровлями, содержащими малое или большое количество слабых контактов, при различных глубинах их заложения

Характеристики или параметры крепи или тумб	Глубина заложения выработки, м			
	менее 600 м		600 -1200 м	
	Количество в кровле слабых контактов			
	малое	большое	малое	большое
Номер типового паспорта крепления	1	2	3	4
Сталеполимерная анкерная крепь:				
расчетное сопротивление, кПа,	120-150	200-240	150-200	240-300
длина анкера, м	2,0	2,2	2,0	2,4
толщина подхвата и опорной пластины, мм	6,0	8,0	8,0	8,0
плотность установки, анк. /м ² , не менее	0,8	1,0	1,0	1,2
наличие затяжки	не требуется	требуется	не требуется	требуется
Крепль усиления:				
из стоек трения	да	да	да	да
из тумб БКУ	нет	да	да	да
расчетное сопротивление, кПа, не менее	150	300	200	300
Суммарное расчетное сопротивление крепи в штреке за лавой, кПа	270-300	500-540	300-350	540-600
Охранные конструкции:				
Плотность установки тумб, шт/на 1 м: тумб БДБ	1,5-2,0	2,0-2,5	2,0	2,5-3,0
Стоимость крепи и охранных конструкций, установленных на 1 м длины выработки, рублей *	8849	12667	12327	17349

* с учетом повторного использования крепи усиления

Результаты расчетов высоты ЗНД в зоне за первым очистным забоем при наличии в породах кровли слабых контактов и обрушении пород непосредственной и основной кровли в выработанном пространстве лавы, приведенные в табл. 4, позволяют сделать вывод, что в данном случае в выемочной выработке при любой охранной конструкции нижние слои кровли разрушаются при суммарном сопротивлении крепи в пределах от 200 до 595 кПа.

При использовании искусственных охранных конструкций высота ЗНД в породах кровли составляет от 10 до 30,6 м. В таких условиях поддержание

выработок только анкерной крепью становится невозможным.

При использовании для охраны выработок наиболее широко применяемых на шахтах Российского Донбасса тумб из деревянно-бетонных блоков, объемном весе пород кровли 27 кН и высоте ЗНД равной 10-10,2 м, в выработке обязательно должна устанавливаться жесткая крепль усиления с несущей способностью не менее 270-300 кПа и податливостью при данном сопротивлении не более 150 мм.

В связи с высокой требуемой несущей способностью, которая не может быть обеспечена крепью усиления из стоек трения и гидростоек, наиболее целесообразно использовать для этих

целей крепь усиления из тумб, сложенных из деревянно-бетонных блоков БКУ с несущей способностью не менее 3000 кН и относительной податливостью, не превышающей 5 % от первоначальной высоты тумбы [3].

С ростом глубины заложения выработок требуемая плотность установки искусственных охранных конструкций в виде тумб БДБ с несущей способностью до 3000 кН и податливостью до 15 % от вынимаемой мощности пласта изменяется в сравнительно узких пределах от 2,0 до 3,0 тумб на 1 м длины штрека.

На основании проведенных исследований методом МКЭ в таблице 4 приведены рекомендуемые четыре типовых паспорта крепления и охраны повторно используемых выемочных выработок с пролетом 4,5-5,5 м и с прочными кровлями, содержащими малое (0-3 штуки) и большое (4-17 штук) количество слабых контактов, в зависимости от глубины их заложения 100-600 м и 600-1200 м.

Проверка указанных типовых паспортов на шахтах «Садкинская», «Дальняя», «Обуховская» показала, что они обеспечивают надежное и безопасное поддержание повторно используемых выработок в условиях области их применения.

В табл. 5 приведена стоимость анкерной крепи, крепи усиления и охранных конструкций в расчете на 1 м длины выработки для каждого из типовых паспортов, которая в ценах I квартала 2008 года в наиболее благоприятных горно-геологических условиях составляет 9884 рубля, а в наиболее сложных – 19930 рублей.

В настоящее время стоимость проведения и крепления 1 м новых подготовительных выработок в присечку к старым на угольных шахтах Российского Донбасса изменяется от 23 до 70 тысяч рублей при среднем значении 45 тысяч рублей, что значительно больше, чем затраты на крепление и охрану 1 м повторно используемой выработки.

Таким образом, применение типовых паспортов, с обоснованными в результате проведенных исследований методами МКЭ, параметрами крепления и охраны повторно используемых подготовительных выработок, обеспечивает не только безопасность работ, но и экономически целесообразно по сравнению с вариантом погашения выемочных выработок за первым очистным забоем и проведением их в присечку к старым выработкам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России. – С.-Петербург.: ВНИМИ, 2000. – 69 с.

2. Беликов В.В. О причинах недостаточной эффективности поддержания подготовительных выработок на шахтах Российского Донбасса // Изв. Вузов. Сев. – Кавк. регион. Техн. науки. Спец. выпуск. Совершенство

вождения техники и технологии угледобычи. – 2006. – С. 76-79.

3. Беликов А.В. Обоснование применения в подготовительных выработках угольных шахт крепей усиления с высокой несущей способностью // Горный информационно-аналитический бюллетень. Сб. науч. тр./ МГУ, 2007. №8 – С. 149-154. **ГИАН**

Коротко об авторах

Беликов А.В. – мл. научный сотрудник,

Беликов В.В. – кандидат технических наук, зам. ген. директора по науке, ШахтНИУИ.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Колесниченко Евгений Александрович.

