

УДК 622.281.74

**Е.С. Кулешов**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КРОВЛИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПРИ ВЫБОРЕ СПОСОБА УСИЛЕНИЯ АНКЕРНОЙ КРЕПИ**

Приведены эффективные технико-технологические решения по усилению анкерной крепи в действующих выработках угольных шахт, основанные на результатах аналитических исследований устойчивости фрактальной модели заанкерованной кровли.

---

**В** последние годы проблема поддержания выработок на шахтах Российского Донбасса обострилась. В значительной мере это относится к капитальным и подготовительным выработкам, закрепленным при проходке анкерной крепью распорно-замкового типа и имеющим длительные сроки поддержания. В некоторых выработках произошло обрушение заанкерованных пород кровли и при этом пострадали люди. В ходе расследования и анализа причин аварий было установлено, что одной из объективных составляющих являются отказы анкерной крепи, как следствие низкой несущей способности анкеров. Снижение во времени силовых параметров анкеров и сопротивления анкерной крепи в целом происходит в результате дезинтеграции (разупрочнения) анкеруемых пород и коррозии элементов анкеров, вызванной термодинамической нестойкостью металла в агрессивной среде угольных шахт.

Результаты обследования 122 выработок на шахтах Российского Донбасса показывают, что в настоящее время около 45 км выработок с анкерной крепью необходимо перекрепить другими видами крепи или усилить анкерную крепь.

Необходимость усиления анкерной крепи возникает в том случае, когда прогнозируемый резерв работоспособного состояния анкерной крепи, обусловленный несущей способностью замков анкеров ( $R_{hc}$ ) и остаточный срок поддержания выработки до её погашения ( $T_b$ ) находятся в зависимости  $R_{hc} < T_b$  или  $R_{hc} = 0$ , а коэффициент работоспособности крепи  $K_p \leq 1$ . Коэффициент работоспособности крепи представляет собой отношение фактической несущей способности замков анкеров к расчётной, определённой на начало проходки выработки и равной  $40 \text{ кН}/\text{м}^2$ . При этом предполагается, что прогнозируемый резерв работоспособного состояния крепи с учётом степени коррозионного износа ( $R_k$ ) больше или равен остаточному сроку поддержания выработки, то есть  $R_k \geq T_b$ .[1]

Традиционным приемом при ремонте и восстановлении выработок, находящихся в активной эксплуатации, является перекрепление рамной крепью из специального металлического профиля. Недостаток традиционных технологий в том, что при нынешнем материальном снабжении в отрасли и отсутствии финансовой поддержки восстановление эксплуатационного состояния выработок и надежности крепи для угледобывающих предприятий является

сложной задачей, требующей значительных материальных и трудовых затрат. К этому следует добавить то, что известные способы усиления анкерной крепи с точки зрения геомеханики являются пассивными, поскольку дополнительно установленная рамная крепь выполняет только ограждающие функции и заметного влияния на деформационные процессы в приконтурном массиве пород не оказывает.

До настоящего времени вопросы усиления анкерной крепи и повышения её работоспособности при длительной эксплуатации выработок не входили в круг решаемых задач при креплении и поддержании выработок с анкерной крепью. Для научных и проектных организаций горного профиля эта проблема трансформируется в поиск альтернативных экономичных и, что не менее важно, эффективных технических решений, которые гарантировали бы надёжность крепления выработки и безопасность работ.

При длительных сроках поддержания выработок в породах кровли появляются трещины и заколы, вызванные силами горного давления; происходит расслоение заанкерованных пород и вывалы отслоившихся отдельностей между анкерами.

Согласно кинетической (термофлуктуационной) концепции разрушения твёрдых тел, предложенной академиком С.Н. Журковым, в твёрдых телах непрерывно идёт процесс накопления повреждений (старение), которое приводит к полному разрушению тел. Приложенные извне нагрузки и соответствующие напряжения лишь уменьшают длительность существования тела в неразрушенном состоянии.

Естественное старение и разрушение твёрдых тел, в том числе и горных пород, неразрывно связано и обусловлено появлением, развитием и консолидацией трещин. Представляя механизм раз-

рушения твёрдых тел, трещину всегда упрощённо представляют в двухмерной системе координат. Форма поверхности трещин, видимая невооружённым глазом, как показали исследования Ф.П. Грохотова, даже при многократном уменьшении не меняется, то есть изменение масштаба не приводит к изменению наблюдаемой формы. Таким образом, наблюдаемые формы являются самоподобными и их можно моделировать с помощью фракталов.

При моделировании непосредственной кровли выработки, закреплённой анкерами, с помощью нагруженного фрактального дерева С. Солла с двумя характеристиками прочности рёбер  $F_{op}$  и  $\gamma F_{op}$ , и долей рёбер прочность  $\gamma F_{op}$ , равной  $\alpha$  может быть определена вероятность разрушения рёбер  $n$ -го уровня [2].

Установлено, что при увеличении прочности рёбер  $\gamma F_{op}$  значительно снижается вероятность разрушения пород кровли, а сам процесс разрушения контролируется исключительно прочными рёбрами. Увеличение прочности рёбер  $\gamma F_{op}$  можно реализовать по двум направлениям: или увеличением количества анкеров на  $n$ -ом уровне или же повышением несущей способности анкеров и работоспособности анкерной крепи в целом.

При длительном поддержании выработок с течением времени будут постепенно снижаться значения  $\alpha$  за счёт роста интенсивности трещиноватости и  $\gamma$  за счёт роста коррозионного износа. Причем, при закреплении анкеров в сухих породах  $\gamma$  всегда будет значительно больше единицы ( $\gamma > 1$ ), в увлажненных породах  $\gamma$  может иметь значения меньше единицы.

Расчеты вероятности разрушения заанкерованной кровли горной выработки для сухих и увлажненных пород дают результаты, приведенные в таблице.

Таблица

**Вероятность разрушения пород непосредственной кровли выработок, закрепленных анкерами при вероятности разрушения собственно пород  $P_1 = 0,3245$  и меняющейся вероятности разрушения  $P_2$  породного блока с анкером**

T, лет		0	5	10	15	20
Сухие породы	$P_2$	0,0040	0,0060	0,0110	0,0245	0,0930
	$P_n$	0,1642	0,1970	0,2304	0,2644	0,3013
Увлажнённые породы	$P_2$	0,0040	0,0110	0,0930	0,7918	0,9999
	$P_n$	0,1642	0,2304	0,2551	0,4647	0,5271

Численное исследование фрактальной модели заанкерованной кровли горной выработки показывает, что вероятность разрушения непосредственной кровли, закрепленной анкерами, при сухих породах кровли возрастает с течением времени по линейному закону, при увлажненных породах кровли наблюдается резкий рост вероятности разрушения при снижении прочности анкеров ниже уровня прочности пород. В этом случае вероятность разрушения отдельного блока пород с находящимся в нём анкером приближается к 1, что в реальных условиях приводит к обрушению блока пород с анкером.

Аналитическое решение задачи позволило установить, что одним из способов усиления анкерной крепи в выработках с длительным сроком поддержания является повышение несущей способности анкеров (в модели  $\gamma F_{on}$ ). Для анкерной крепи распорно-замкового типа (ЭС, АД, ШК и др.) способ усиления может реализоваться по следующим основным направлениям:

- замена существующих анкеров анкерами нового технического уровня и повышенной несущей способностью;
- установка дополнительных элементов замка;

– увеличение контактной прочности пород в приконтурном слое скважин;  
замена элементов замка более совершенными конструкциями;

– заполнением свободного объёма скважин твердеющими составами.

Технико-экономический анализ и сравнение возможных решений позволил установить, что технически целесообразным и экономически выгодным способом усиления анкерной крепи является повышение несущей способности анкеров путём заполнения свободного объёма скважин твердеющими смесями. Применение других возможных вариантов, судя по данным практики, ограничено по техническим соображениям в сочетании с высокой трудоемкостью работ.

С учетом специфических технических требований, сформулированных по результатам исследования подземной инфраструктуры шахт, в том числе энергетических коммуникаций, систем транспорта и водоснабжения, в ОАО «ШахтНИИУИ» создано технологическое оборудование в составе шахтного пневмонагнетателя, прорезиненных рукавов, герметизаторов устья скважин, контролирующих приборов, запорной и управляющей арматуры. Определена наиболее рациональная рецептура твердею-

щей смеси и основные технологические параметры инъекционного способа усиления анкерной крепи.

Сущность способа состоит в том, что твердеющая смесь на основе портландцемента М500 из аккумулирующей емкости с использованием энергии сжатого воздуха от автономного источника под давлением 0,350,50 МПа подается в свободный объем скважин с анкерами. По сути дела, распорно-замковый анкер, заполненный по всей длине твердеющим составом, можно рассматривать как железобетонный с повышенной жесткостью и несущей способностью.

Как показали результаты инструментальных исследований силовых параметров, усиленных таким образом, анкеров в условиях шахты «Комсомольская правда», сопротивление анкерной крепи в людском ходке №1 возросло в 2,0–2,5 раза, составило 85–100 Кн/м<sup>2</sup> и вполне отвечает нормативно-техническим требованиям.

Следует отметить, что наряду с увеличением сопротивления анкерной крепи наблюдается эффект упрочне-

ния пород кровли. Техническая эндоскопия приkontурного слоя пород кровли в пределах глубины анкерования, равной 1,8–2,2 м, оптическим прибором типа РВП конструкции ШахтНИИИ показала следующее. При нагнетании водоцементной композиции в скважины с анкерами твердеющая смесь заполняет кососекущие техногенные трещины и трещины расслоения пород по напластованию (трещины горного давления) с образованием перекрываемых зон упрочненных цементацией пород в окрестности скважин с анкерами. В кровле выработки формируется грузонесущая плита с прочной связью между блоками и повышенной устойчивость породных обнажений.

Практические результаты реализации инъекционного способа усиления анкерной крепи непосредственно в шахтных условиях подтвердили справедливость выбранной имитационной модели заанкерованной кровли, техническую и экономическую целесообразность принятых решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луганцев Б.Б., Кулешов Е.С., Беликов В.В. Методика оценки состояния анкерной крепи раборно-замкового типа в длительноэксплуатируемых выработках угольных шахт // Изв.вузов.Сев. Кавк.регион. Техн.науки. 2004. с. 66-76.
2. Луганцев Б.Б., Пушки А.Г., Кулешов Е.С. Имитационные модели разрушения пород и угля в подземных горных выработках // Изв. вузов.Сев. – Кавк. регион. Техн. науки. – 2004. – с. 23-25. ГИАБ

#### Коротко об авторе

Кулешов Е.С. – кандидат технических наук, директор ООО «Стандарт».

Рецензент канд. техн. наук Ошеров Борис Аронович.

