УДК 622.257.1

А.А.ШУБИН, *канд. техн. наук, доцент, andy57@rambler.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.A.SHUBIN, *PhD in eng. sc., associate professor, andy57@rambler.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛИКВИДАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ АКТИВИЗАЦИИ

Приведен анализ видов материалов и способов закладки, применяемых в различных областях горно-рудной промышленности. Рассмотрен процесс заполнения подземных пустот тампонажными смесями.

Представлены результаты моделирования процесса ликвидации подземных пустот при формировании закладочного массива путем нагнетания гидросмеси на основе дилатантных материалов.

Ключевые слова: гидросмесь, закладка, подземные пустоты, деформирование, напряжения, массив породный.

MODELLING OF PROCESS OF LIQUIDATION OF UNDERGROUND EMPTINESSES IN THE CONDITIONS OF TECHNOGENIC ACTIVATION

The analysis of types of materials and methods of bookmark, applied in the different areas of mining industry is resulted. The process of filling of emptinesses dispersible mixtures is considered. The charts of forming of bookmark array a hydraulic method are presented.

Process of modelling of liquidation of underground emptiness at formation of a zone of a bookmark by forcing of a hydromix on the basis of pseudo-plastic materials is considered.

Key words: slurry, underground emptiness, deformation, stresses, rock mass.

Повышенный интерес к закладке подземных пустот вызван ускоренным развитием современных природно-техногенных процессов, повлиявших на состояние окружающей человека природной среды вследствие массового закрытия шахт. Большинство отрицательных экологических явлений на ликвидируемых предприятиях проявляют себя не сразу, а спустя месяцы и годы после прекращения работы на них. Поэтому важно заранее предусмотреть их возможность, с тем чтобы в проектах ликвидации принять меры по нормализации экологической обстановки и включить в сметы соответствующие затраты. Однако на многих предприятиях возникают непредсказуемые явления, требующие дополнительных научно-исследовательских и проектных проработок и, соответственно, затрат. Поэтому научное изучение экологических проблем с самого начала реформирования отрасли и по настоящее время является важнейшей задачей научно-технического обеспечения реструктуризации угольной промышленности.

Ликвидация угольных шахт, которая осуществляется без учета прогнозных оценок экологических последствий в условиях финансирования мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности, по остаточному принципу, привела к существенному осложнению экологической ситуации, в частности, в угледобывающих регионах.

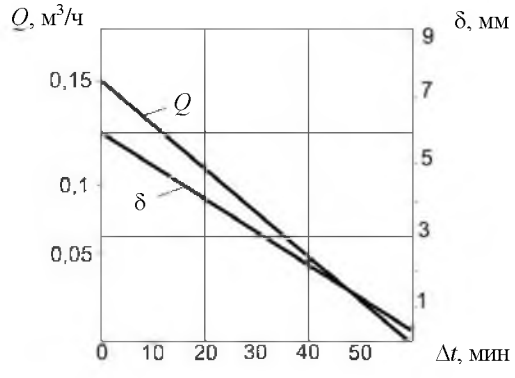


Рис.1. Зависимость расхода гидросмеси Q и раскрытия подкровельной щели от времени Δt

Широкое использование для гидрозакладки отходов мокрого обогащения удешевляет и повышает эффективность закладочных работ. Однако отходы обогащения, как и любой другой закладочный материал, не обладают способностью самоупрочняться. Поэтому для упрочнения закладочного массива используются различные цементирующие добавки.

Проведенные экспериментальные исследования [1-3] отобразили реальную картину совокупности процессов, происходящих при заполнении крупных подземных полостей и камер, тампонажа трещиноватых зон и развития провалов над горными выработками. Необходимо отметить, что при этом использовались ресурсосберегающие тампонажно-закладочные смеси на основе отходов горного производства.

Исследования подвергались статистической обработке и повторялись до получения устойчивого результата. При этом отклонение фактических данных от средних значений, за исключением случайных величин, составляло 7-16 %.

Моделирование закладки подземных пустот дилатантными смесями показало, что во времени расход ΔQ гидросмеси линейно уменьшается, а за счет линейного уменьшения во времени раскрытия подкровельной щели через определенное время процесс заполнения прекращается (рис.1).

Очевидно, что аналитическая форма зависимостей имеет вид

$$\Delta Q = Q_{t_{i+1}} - Q_{t_i} = Q_{\text{н}} - a\Delta t,$$

$$\delta = \delta_0 - в\Delta t,$$

где a и $в$ – эмпирические параметры, характеризующие конкретный закладочный раствор и процесс заполнения пустот; $Q_{\text{н}}$ – расход гидросмеси до полного насыщения подкровельной щели.

По физическому смыслу параметр a равен объему закладки подкровельной щели, а параметр $в$ представляет скорость течения гидросмеси. Эти параметры легко определяются из приведенных графиков как тангенс угла наклона линии.

Максимальный радиус конического закладочного массива R зависит только от давления за счет перепада в скважине ΔP и свойств гидросмеси. Из экспериментальных данных следует, что градиент давления гидросмеси по радиусу течения $\Delta P / R$ есть величина уменьшающаяся, поэтому происходит остановка движения раствора. Причем скорость течения гидросмеси в подкровельной щели не зависит от радиуса течения.

Нагнетание вязкопластичных материалов в трещиноватые зоны породных массивов аналитически и экспериментально изучалось ранее подробно [2, 3]. Однако ведение закладочных работ требует больших объемов недорогих растворов, поэтому необходимо было установить закономерность уменьшения давления, режим движения и гидравлические потери в зависимости от радиуса течения для растворов на основе отходов горного производства. При этом доказано, что суспензии на основе шламов и золы уноса образуют стабильные смеси при добавке 2 % бентонита, 3 % цемента и 1 % жидкого стекла. При таких параметрах суспензии их плотность составляет 1330-1620 кг/м^3, вязкость $\eta = 60 \div 170$ сПз, динамическое напряжение сдвига $\tau = 15 \div 120$ Па. Несмотря на большой разброс значений параметров, значение обобщенного критерия Рейнольдса (параметр Хюдстрема) не выходит из области структурного режима течения, т.е. предложенные растворы представляют собой вязкопластичное тело Бингама – Шведова.

Расчет гидравлических сопротивлений при движении растворов в трещинах различного раскрытия производился по формуле

$$f = \frac{12}{\mathrm{Re}^*}\left(1+\frac{\nu\tau_0\delta}{2\nu_0\eta}\right)\beta,$$

где ν, ν_0 – скорость движения жидкости и ядра потока; $\beta = 1-\frac{3}{2}\frac{\delta_0}{\delta}+\frac{1}{2}\left(\frac{\delta_0}{\delta}\right)^3$ – комплексный параметр трещиноватости, в котором $\delta_0 = \frac{\tau_0 R}{\Delta P}$ – размеры ядра потока.

Процесс изменения расчетных гидравлических сопротивлений от критерия Рейнольдса в логарифмическом масштабе для исследуемых растворов приведен на рис.2. Линией обозначена теоретическая зависимость.

Исследования закономерности формирования провальной воронки над горной выработкой показали, что в начальный период времени в результате действия касательных напряжений формируется ядро течения, которое активизируется под влиянием влаги в грунте.

В связи с этим основным показателем потенциальной возможности провала грунта является комплексный критерий разрушения, учитывающий геометрические параметры (диаметр воронки d), кинетику процесса и активизирующий фактор:

$$K_{\text{р}} = \frac{\Delta t v}{dW}.$$

Результаты экспериментальных исследований показали степенную зависимость скорости формирования провала v (течения

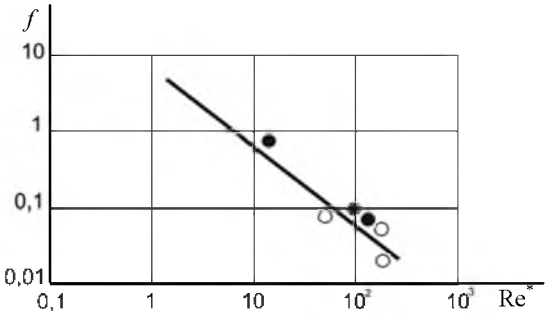


Рис.2. Зависимость гидравлических сопротивлений от числа Рейнольдса при течении растворов в трещинах 3; 5; 10 мм

○ – шлам; ● – зола

грунта) от влажности W, а также гиперболическую зависимость скорости формирования провала от времени. Причем были получены результаты прогрессирующего разрушения и некоторые течения затухающего характера. Это позволяет определить критическое значение критерия разрушения гидроактивизированных грунтов (см. таблицу).

Анализ полученных результатов показывает, что глины приходят в движение при влажности не менее 0,25, а суглинки разрушаются в форме провала при влажности более 0,2.

Это означает, что критическое значение критерия разрушения: для глин $К_р = 8$; для суглинков $К_р = 22$. Этот показатель свидетельствует о возможности формирования провала над выработкой за счет прогрессирующих разрушений грунта. Причем важнейшее значение при этом имеет активизирующий фактор – влажность грунта.

Критерий разрушения гидроактивизированных грунтов

№ п/п	Грунт	Время Δt, мин	Скорость течения, м/мин	Диаметр воронки, мм	Влажность, доли ед.	Критерий разрушения
1	Глина	139	0,62	40	0,28	7,7
2		65	0,87	45	0,32	3,9
3		12	1,8	50	0,40	1,1
4		294	0,35	50	0,21	9,8
5		225	0,4	45	0,25	8,0
6	Суглинок	178	1,04	40	0,2	22,0
7		47	1,75	45	0,25	7,3
8		16	2,41	50	0,29	2,6
9		10	3,0	45	0,32	2,1
10		396	0,9	50	0,18	39,6

ЛИТЕРАТУРА

1. *Должиков П.Н.* Исследование реологических свойств закладочных гидросмесей / П.Н.Должиков, С.Г.Страданченко, А.А.Шубин // Известия ТулГУ. Серия Геомеханика. Механика подземных сооружений. Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. Вып.2. С.251-256.

2. *Должиков П.Н.* Ликвидация водопритоков в условиях развития карста / П.Н.Должиков, А.А.Шубин // Научно-технические проблемы разработки угольных месторождений, шахтного и подземного строительства: Сб. науч.тр. / Шахтинский ин-т ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2005. С.180-185.

3. *Шубин А.А.* К вопросу о закладке крупных подземных пустот // Горный инф.-аналит. бюл. 2005. № 8. С.145-148.

REFERENCES

1. *Dolzhikov P.N., Stradanchenko S.G., Shubin A.A.* Research of properties of bookmark slurries // News of TulSU. Series are Geomechanics. Mechanics of underground buildings. Tula: Pub. house of the TulGU. 2004. Vol.2. P.251-256.

2. *Dolzhikov P.N., Shubin A.A.* Liquidation of water productions in the conditions of development of cavitys // Scientific and technical problems of development of coal deposits, mine and underground buildings. Novocherkassk: «Nabla» SRSTU (NPI), 2005. P.180-185.

3. *Shubin A.A.* To the question about the bookmark of large underground emptinesses // Mining inf. analit. bull. 2005. N 8. P.145-148.