© А.А. Шубин, 2008

УДК 622.257.1

А.А. Шубин

ВЛИЯНИЕ ПОДТОПЛЕНИЯ НА АКТИВИЗАЦИЮ ПРОЦЕССОВ СДВИЖЕНИЯ

Семинар № 18

Сдвиги пород над выработками, раскрытие трещин, просадки и изменение гидрогеологических условий могут быть причиной катастрофических провальных явлений, а также *внезапных прорывов воды* из поверхностных водоемов в подземные пустоты. Эти прорывы, как правило, бывают обусловлены подработкой водоемов горными работами, а также незаметными ранее трещинами и тектоническими нарушениями, соединяющими поверхностные водоемы с коллекторами, подземными каналами, а также выработками шахт.

К моменту горных предприятий многократно подработанный массив имеет зоны расслоений, зависаний, не полностью уплотненных обрушенных пород, участки с техногенными разрывами.

В процессе затопления прочностные свойства, особенно глинистых пород, уменьшаются, что может привести к потере установившегося равновесия толщи горных пород и к активизации процессов сдвижения, в результате чего возникнут дополнительные сдвижения и деформации земной поверхности. При этом можно выделить следующие условия и причины активизации процессов сдвижения:

1) Ликвидация расслоений, зависаний, дополнительные уплотнения пород в зонах обрушений.

2) Дополнительные сдвижения по слабым крутопадающим пропласткам и прослойкам, вызванные уменьшением их прочностных свойств. Такие проявления возможны на выходах крутопадающих пластов и в замковых частях антиклиналей.

3) Активизация тектонических нарушений, особенно имеющих зоны перемятых до глинистого состояния пород.

4) Активизация участков проявления сосредоточенных деформаций в результате уплотнения пород в зонах обрушений и расслоений и дополнительных смещений по образовавшимся техногенным разрывам.

Известно, что прочность любых каменных материалов, при водонасыщении снижается. Это происходит вследствие того, что микротрещинообразование облегчается при адсорбции твердым телом полярной жидкости. Степень снижения прочности материала зависит от его физико-механических свойств и характеризуется коэффициентом размягчения $k_р=R^в/R^с$ (где $R^в$ и $R^с$ – прочность материала в водонасыщенном и в сухом состоянии).

Влияние давления насыщающей жидкости выражается, во-первых, в снижении величины всестороннего сжатия, а следовательно, и в уменьшении эффекта давления на глубине залегания породы.

Во-вторых, в случае аномально высокого давления его влияние может выразиться в естественном разрыве пород и образования трещин.

Следует отметить также большое влияние физико-химических свойств насыщающих сред на деформационные свойства и сопротивление пород разрушению. При испытании осадочных пород в условиях, характерных для относительно небольших глубин [1], установлено, что неактивные среды, к числу которых относятся жидкости углеводородного состава, мало влияют на прочность и пластическую деформацию пород. Под действием же активных сред (минерализованных вод, водных растворов поверхностно-активных веществ и др.) резко снижаются сопротивление пород сдвигу и величина остаточной деформации. При этом изменяется также и характер пластической деформации (наклон пластической ветви на диаграмме деформации становится отрицательным), что свидетельствует об увеличении роли межкристаллического скольжения. Ослабление сил межзерновой связи при насыщении жидкостью отмечалось и при испытании некоторых магматических и метаморфических пород [2].

Таким образом, физико-химичес-кое влияние насыщающих сред на деформационное поведение пород заключается главным образом в стимулировании деформации по границам зерен, вследствие адсорбционного эффекта.

Существенное влияние на деформационные свойства глинистых пород, в связи с гидрофильностью глинистых минералов, оказывают активные жидкости [3].

При параметрах процесса, характерных для больших глубин залегания пород, и при длительном воздействии насыщающих сред проявляется влияние на деформацию и разрушение пород процессов растворения и перекристаллизации [4].

Исследования, проведенные с целью изучения деформационных и прочностных свойств пород в условиях действия факторов, характерных для их залегания, позволили установить отличительную особенность остаточной (пластической) деформации большинства горных пород – увеличение объема, связанное с возникновением ориентированной деформационной микротрещиноватости. Указанная деформационная микротрещиноватость, способствует росту проницаемости пород.

Изученная прямая зависимость интенсивности трещиноватости от величины деформации обусловливает возможность прогноза (в пределах локальных структур) зон вероятного повышения емкости и проницаемости пород в местах наибольшей тектонической деформации.

Деформационная микротрещиноватость в естественных условиях, по видимому, способствует активизации процессов избирательного выщелачивания, вызывающего дополнительный рост емкости, но и затушевывающего картину развития этой трещиноватости. Кроме того, очевидно, что именно в местах максимального развития деформации, сопровождающейся микроразрывами, наиболее вероятно развитие трещин разрушения (отрыва или сдвига) разных порядков, с которыми, по современным представлениям, связаны фильтрационные свойства пород.

На основании экспериментальных данных можно выделить зоны наиболее перспективные для развития трещиноватости не только по площади, но и по разрезу, поскольку, как следует из результатов испытаний, интенсивность трещиноватости и объем трещин зависят от состава и структуры деформируемых пород.

В целом ряде практически важных случаев фильтрации в упругих пластах эффективное среднее нормальное на-

пряжение σ, возникающее в результате действия на породы градиентов давления фильтрующейся жидкости, зависит от разности давления жидкости p и контурного давления жидкости $p_к$ следующим образом:

$$\sigma = \frac{1}{3}\frac{(1+\nu)}{(1-\nu)}(p - p_к).$$

На тех глубинах, где в настоящее время разрабатываются месторождения полезных ископаемых коллекторы жидкости можно во многих практических случаях считать упругими. При переходе же на большие глубины, а также в тех случаях, когда давление насыщающей породу жидкости близко к горному давлению и, следовательно, сами породы в естественных условиях слабо нагружены, они будут большей частью деформироваться пластически, необратимо, а также будут проявлять свойства текучести.

При упругопластическом режиме пластическая деформация самой породы в каждом элементарном объеме происходит мгновенно, т. е. текучести породы не наблюдается.

Рассмотрим теперь неустановившуюся фильтрацию жидкости в породах, деформирующихся, как среда Максвелла [5].

Для этой среды можно принять зависимость между эффективной средней деформацией ε и эффективным средним нормальным напряжением σ в виде:

$$\frac{д\varepsilon}{дt} = \beta_м \frac{д\sigma}{дt} + \frac{\sigma}{\mu_м} \qquad (1)$$

где $\beta_м$ и $\mu_м$ – соответственно сжимаемость и вязкость максвелловской среды.

Если пренебречь сжимаемостью материала пористой среды от нейтрального напряжения, то можно положить, что $m = m_0 - \varepsilon$ (m_0 – начальная пористость), а $\sigma + p = q_г$ (p – давление жидкости).

Тогда на основе (1) имеем

$$\frac{dm}{dt} = \beta_м \frac{dp}{dt} + \frac{q_г - p}{\mu_м}.$$

Существуют и другие уравнения реологического режима, определяемые видом деформационного уравнения состояния пластов.

Высыхание породы тоже является одним из факторов, ослабляющим ее структурные связи и поэтому способствующим образованию трещин отпора в краевой части массивов.

На настоящем этапе исследований можно предложить только общий подход к прогнозу активизации сдвижений в результате дополнительного уплотнения пород и ликвидации зависаний. Он основывается на прогнозировании так называемой мощности активизации m_a. [6].

Эту величину для каждой отработанной выработки можно оценить по формуле:

$m_a = k_1\, k_2\, k_3\, k_4\, k_5\, m_в$

где $m_в$ – отработанная мощность пласта; k_i – коэффициенты, характеризующие горнотехнические условия отработки.

Значения этих коэффициенты в настоящее время приняты на основе существующих представлений о геомеханическом состоянии подработанного массива.

Коэффициент k_1 определяется степенью метаморфизма пород и характеризует степень расслоения массива. Его значение изменяется от 0,9 в антрацитовых районах до 0,7 в районах залегания марок углей Д и Г.

Коэффициент k_2 зависит от типа пород непосредственной кровли, что определяет состояние пород в зоне обрушения. Он изменяется от 0,35 до 0,45 в зависимости от класса обрушаемости кровли пластов: чем выше обрушаемость пород, тем меньше значение данного коэффициента.

Значения коэффициента k_3 определяется обводненностью горных пород. Его значения изменяются от 1,0 для полностью осушенных до 0,7 для сильно обводненных пород.

Коэффициент k_4 зависит от глубины соответствующей выработки. При обосновании этого коэффициента принят во внимание и тот факт, что в период войны практически все шахты были затоплены и над выработанным пространством уже могли произойти дополнительные деформации горного массива. Средняя глубина горных работ на тот период была около 300 м. Поэтому рекомендуется следующая формула для определения данного коэффициента:

$$k_4 = \sqrt{\frac{300}{H}}$$

где H - средняя глубина расположения подземных пустот, м.

Исходя из данной формулы значение коэффициента k_4 составляет 1,0 при глубине до 300 м и 0,55 при глубине до 1000 м.

Коэффициентом k_5 учитывается способ управления кровлей при ведении горных работ. Его значения рекомендуется принять равными: 0,05 при гидравлической закладке, 0,15 – при пневматической; 0,40 – при самотечной закладке; 0,75 – при полном обрушении; 0,80 – при плавном опускании; 0,95 – при щитовой отработке крутых пластов и 1,0 – при удержании кровли на кострах.

В целом величина мощности активизации может составлять 5–25% от вынутой мощности пласта. Следует отметить, что активизация сдвижения горных пород при затоплении шахт не должна вызвать расширение мульды сдвижения на земной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Boozer G.D.* Effects of pore fluids on the deformation behavior of rocks subjected to triaxial compression. – Proc. Fifth Sympos. Rock Mechanics. Univ. Minnesota, 1963.
2. *Griggs D.T., Turner F.Y., Darrel O.* Deformation of rocks. – Bull. Geol. Soc. America, 1954, 65, №12.
3. *Байдюк Б.В., Шрейнер Л.А.* Расчет устойчивости горных пород в скважинах. – ГОСИНТИ, 1961.
4. *Maxwell Y.C.* Experiments of compaction and cementation of sand. – Mem. Geol. Soc. America, 1960, 79.
5. *Желтов Ю.П.* Деформации горных пород. М., Недра, 1966.
6. Ермаков В.М. Прогноз зміни стану підробленого гірничого масиву при закритті вугільних шахт // Автореф. дис.-.канд. техн. наук-Донецьк, ДонФТІ, 1999. - 19 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Шубин А.А. – кандидат технических наук, доцент каф. «Подземное, промышленное и гражданское строительство», Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (НПИ).

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 18 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *Б.А. Картозия.*