

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ПОДРАБОТКЕ ПОРОДНЫХ МАССИВОВ ШАХТАМИ

О. А. Пирский, докт. техн. наук, Н. А. Сидоренко, асп. (НТУУ КПИ"), А. Н. Могилко, канд. геол.-минер. наук, В. Т. Вовк, инж. (УкрНИИПроект)

Розглянуто еколого-гідрогеологічні наслідки діяльності гірничовидобувних підприємств. Аналізується процес прискореної геомеханічної деградації товщі порід, порушених гірничими роботами. Отримані результати важливі як для існуючих шахт, так і для тих, що підлягають закриттю.

В процессе добычи угля подземным способом происходит полное осушение угольного пласта и приконтурной зоны вмещающих пород. Аналогичное явление фиксируется и в так называемой зоне водопродводящих трещин выше угольного пласта в подрабатываемой толще пород. При этом в массиве одновременно идут два разнонаправленных процесса:

увеличение ширины раскрытия существующих трещин при сдвигении породной толщи и возникновение новых трещин в результате снижения исходной блочности массива;

снижение ширины раскрытия трещин в связи с деформациями структурных блоков при росте гравитационных напряжений после снятия гидростатического взвешивания.

На начальных этапах отработки месторождений преобладающим является процесс роста коэффициентов фильтрации.

В большинстве случаев в дальнейших прогнозах принимается вариант неизменности фильтрационных параметров, обусловленных техногенным влиянием на подработанные массивы пород. В то же время уже накопленный опыт закрытия шахт показал, что гидрогеомеханические процессы в породных массивах не столь однозначны, а многие явления могут быть объяснены только на основе гидрогеологии деформируемых сред.

Представляется, что более объективные оценки напряженного состояния и изменения фильтрационно-деформационных свойств пород могут быть выполнены с учетом наличия остаточных (замороженных) напряжений и явлений длительного снижения прочности.

Остаточные напряжения, сформировавшиеся в процессе литификации осадков, являются по отношению к гравитационным напряжениям внутренними, зависящими от состояния кристаллизационно-цементационных связей. Деформационное поведение элемента системы при совместном влиянии гравитационных и остаточных напряжений рекомендуется рассчитывать по зависимостям [1]:

$$\epsilon_1 E = \gamma H + \psi_2 \sigma_0; \quad (1)$$

$$\epsilon_2 E = \nu \gamma H - \sigma_0; \quad (2)$$

$$\epsilon_3 E = \nu \gamma H - \psi_1 \sigma_0, \quad (3)$$

где $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ – соответственно вертикальная и горизонтальные относительные деформации; E – модуль деформации; γ – плотность пород; μ – коэффициент Пуассона; σ_0 – остаточное напряжение; H – глубина расчетного слоя; ψ_1, ψ_2 – коэффициенты распределения остаточных напряжений по отношению к максимальному их значению.

В приведенных выше зависимостях (1)–(3) параметры E, μ, σ_0 приняты для варианта изотропного массива как первого приближения к реальному состоянию.

Необходимо подчеркнуть, что в естественных условиях прочность и величина остаточных напряжений:

до глубины 60...150 м от поверхности минимальны для анализируемого типа отложений;

в диапазоне глубин (60...150)–(150...300) м постепенно увеличиваются до практически максимальных значений;

на глубинах более 150...300 м имеют тенденцию роста с минимальными градиентами.

Верхнюю зону породных массивов следует определять как зону разуплотнения, подвергшуюся выветриванию в приповерхностной части. Анализ зависимостей (1)–(3) позволяет сделать вывод, что показатель ϵ не уменьшается с увеличением глубины. В определенном диапазоне глубин, где разница остаточных и гравитационных напряжений максимальна, одновременно с увеличением ширины раскрытия трещин будут локально повышаться и коэффициенты фильтрации пород.

Общей характерной особенностью остаточных напряжений является зависимость их величины от размеров структурного блока массива (степени трещиноватости), то есть от интенсивности развития микротрещин, копирующих макротрещины [1]. В среднем для достаточно широкого класса пород остаточное напряжение σ_0 может быть рассчитано по формуле

$$\sigma_0 = \frac{11,5}{W^{0,4}}, \quad (4)$$

где σ_0 – максимальное остаточное напряжение, МПа; W – степень трещиноватости.

$$W = \frac{1}{l_1 l_2 l_3}, \quad (5)$$

где l_1, l_2, l_3 – линейные размеры структурного блока, м.

Из зависимости (4) следует, что с уменьшением размеров структурного блока снижается и величина остаточных напряжений. Поскольку при отработке угольного пласта происходит интенсивное дробление вышележащей толщи пород, то в конечном счете, согласно зависимостям (1)–(3), через определенный промежуток времени ширина раскрытия трещин станет меньше в результате

снижения уровня остаточных напряжений. Соответственно снизятся и фильтрационные параметры.

В отношении влияния фактора времени на фильтрационно-деформационные показатели породных массивов следует отметить возможное влияние длительного снижения прочности в результате техногенных воздействий при подземной добыче угля.

Сущность проблемы состоит в следующем. В естественных условиях для данного геологического момента времени прочность пород будет близка или выше предела длительного сопротивления сдвигу [2, 3]. При высоких значениях исходной прочности пород величина действующих гравитационных напряжений недостаточна для возникновения в структурных блоках явлений длительного снижения прочности.

В результате механического дробления массива при подработке и снижения уровня остаточных напряжений действующие гравитационные нагрузки, увеличенные в результате снятия гидростатического взвешивания, могут стать достаточными для развития ползучести дополнительного длительного снижения прочности. Таким образом, в результате техногенных воздействий в породном массиве может начаться процесс ускоренной геомеханической деградации подработанной толщи пород.

Рассмотрим особенности этого процесса на примере погашаемых шахт Львовско-Волынского бассейна.

Отложения, вовлекаемые в зону водопроводящих трещин при посадке кровли, представлены:

вмещающими аргиллитами, алевролитами и песчаниками палеозойского возраста, залегающими практически горизонтально;

мергельно-меловыми породами сеноманского и туронского ярусов верхнего мела.

Сопротивление одноосному сжатию песчаников и алевролитов близко к 40 МПа, аргиллитов – 15 МПа, а мело-мергельной толщи – 20 МПа.

Для количественной оценки влияния техногенных факторов на гидрогеологические условия на примере шахты №8 «Нововолынская» был проведен соответствующий комплекс расчетов для слабопроницаемой толщи мелоподобных известняков и мергелей. Их особая роль заключается в том, что они сплошным чехлом перекрывают палеозойские отложения и изменения исходных фильтрационных параметров, если они происходят, будут идентичными по всей подработанной территории.

Из приведенных в табл. 1 данных о физико-механических свойствах и их изменениях в результате техногенного уменьшения размеров структурных блоков следует:

прочностные и деформационные свойства мелоподобных известняков в существенной степени зависят от степени трещиноватости массива;

даже при уменьшении структурного блока в 4 раза его стандартное сопротивление сдвигу превышает в анализируемом случае нормальные (вертикальные) гравитационные напряжения.

Таблица 1. Расчетные показатели мелко-мергельных пород и их изменение при подработке

Глубина, м	Вертикаль- ные гравита- ционные напряжения, МПа	Сопротивление относному сжатию σ_c , МПа	Остаточные напряжения, МПа			Верти- кальное напря- жение σ_1 , МПа	$\frac{\sigma_1}{\sigma_c}$	Кэффи- циент Пуассона μ	Модуль деформа- ции E , МПа	Размер блока, м
			горизон- тальные макси- мальные	горизон- тальные минимал- ные	верти- кальные					
240-280	5,6	20,0	8,4	3,44	2,02	7,62	0,38	0,16	145	0,77
280-320	6,4	20,0	8,5	4,76	2,92	9,32	0,47	0,23	150	0,78
240-280	5,6	12,9	3,7	0,23	0,12	5,72	0,53	0,26	110	0,385
280-320	6,4	13,1	3,7	0,24	0,13	6,53	0,59	0,30	110	0,39
240-280	5,6	9,4	1,6	0,20	0,10	5,70	0,98	0,52	83	0,192
280-320	6,4	9,4	1,6	0,21	0,13	6,53	1,09	0,56	85	0,195

Таким образом, на начальных стадиях подработки мелоподобных известняков в массиве будет наблюдаться определенное увеличение исходных коэффициентов фильтрации.

Поскольку слои мелоподобных известняков можно отнести к породам с конденсационно-цементационными связями, то такого типа образования склонны к ползучести и длительному снижению прочности с относительно замедленной скоростью по сравнению с представителями со связями водно-коллоидного типа [2]. В частности, разрушение образцов с конденсационно-цементационными связями под нагрузками, близкими к пределу длительной прочности, достигается за срок порядка 126 лет.

В связи с тем, что в результате ползучести снижается также блочность массива и величина остаточных напряжений, в породном массиве при сохранении уровня гравитационных нагрузок в деформирующемся слое развивается процесс все ускоряющегося разрушения. При этом в отличие от первого этапа, сопровождающего сдвигение и характеризующегося увеличением коэффициентов фильтрации, на втором этапе одновременно с ростом степени трещиноватости раскрытие трещин существенно снижается. Как следствие, коэффициенты фильтрации длительно деформирующихся слоев становятся ниже исходных, трансформируясь практически в водоупоры.

Проведенные расчеты для территории, подрабатываемой шахтой № 8 «Нововолынская», показали:

в первые 5–7 лет отработки запасов коэффициенты фильтрации мелоподобных известняков и площади их фиксации увеличивались;

через 10–12 лет в зонах подработанных территорий начали появляться участки с коэффициентами фильтрации ниже естественных;

к 2000 г. площадь геомеханически деградированных слоев с пониженными фильтрационными параметрами составляла около 85 % подработанной территории (свыше 6,3 км²).

Из данных табл. 2 следует, что на начальных стадиях отработки и при посадке кровли вновь отработанных лав повышенные фильтрационные параметры способствовали интенсификации перетока в горные выработки из вышележащего сенонского горизонта. Постепенно к моменту закрытия шахты переток существенно снизился в связи с уменьшением коэффициентов фильтрации.

Таблица 2. Трансформация коэффициентов фильтрации мелоподобных известняков при их подработке

Глубина, м	Коэффициенты фильтрации, м/сутки, при размерах структурных блоков		
	исходных	уменьшенных в 4 раза	конечных
240–280	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$
280–320	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$

Поскольку горные работы на шахте № 8 «Нововолынская» велись на минимальной для данного района глубине, на полях других закрытых и закрываемых шахт аналогичные гидрогеологические процессы в разделяющих слоях мелоподобных известняков будут иметь аналогичную интенсивность.

Наряду с отработкой статических запасов подземных вод именно эти особенности фильтрационно-деформационного поведения разделяющих слоев являются причиной существенного снижения притоков в шахты Червоноградского района.

С учетом того, что суммарные площади подработанных шахтами территорий составляют десятки квадратных километров, эколого-гидрогеологические последствия могут иметь региональный характер. Оценить их в полном объеме и однозначно без режимных наблюдений невозможно.

Выводы

1. Формирование относительного водоупора в нижней части покровных меловых отложений снизит переток из сенонского водоносного горизонта до минимума, а процесс восстановления уровневого режима в выработанном пространстве растянется на достаточно длительное время.

2. Исходя из теории о возможной дополнительной разгрузке глубинных высокоминерализованных и токсичных подземных вод в приповерхностные зоны, можно утверждать, что длительное поддержание сниженных уровней в выработанном пространстве может активизировать этот процесс.

3. После восстановления исходного (или на более высоких отметках) уровневого режима палеозойского водоносного горизонта в пределах подработанных территорий потенциального загрязнения вышележащего сенонского горизонта за счет перетока следует ожидать за пределами шахтных полей. Оценить характер и степень загрязнения сенонского водоносного горизонта в настоящее время невозможно.

4. Эколого-гидрогеологические последствия восстановления уровневого режима сенонского и четвертичного водоносных горизонтов будут определяться не столько техногенным слабопроницаемым слоем в основании меловых отложений, сколько геоморфологической ситуацией в зоне подработки.

1. *Руппенейт К. В.* Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1975. – 273 с.

2. *Мозилко А. Н., Куваев Н. Н.* Построение обобщенных кривых длительной прочности и их использование для оценки устойчивости откосов // Вопросы инженерной геологии при использовании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений шахт и карьеров. – ЛГИ. – 1970. – Вып. 2. – С. 31–39.

3. *Ильин А. Н., Гальперин А. М., Стрельцов В. И.* Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах. – М.: Недра, 1985. – 182 с.