

УДК 622.831.24

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНОГО МАССИВА НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ШАХТ

Питаленко Е. И., Васютина В. В.
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

У статті дано визначення параметрів зон водопровідних тріщин для урахування цього показника при прогнозуванні активізації геомеханічних процесів у масиві гірських порід після затоплення вугільних шахт.

We give definition of the parameters for zones of water-conducting fractures for this attribute to be taken into account in predicting the growing activity of geomechanical processes in rock mass after flooding coal mines with water.

При реструктуризації угольних підприємств, виник цілий ряд раніше не досліджованих проблем, пов'язаних з закриттям шахт на «мокру» консервацію, коли вироботанне простірство повністю або частково заповнюється водою і зволажнюється подрабований горний масив.

Закриття отработавших запаси угля или нерентабельных горнодобывающих предприятий в современных экономических условиях привело к ряду серьезных опасных ситуаций связанных с нарушением экологического равновесия окружающей среды.

При консервации угольных шахт с последующим затоплением вироботанного простірства происходит резкое изменение гидрогеологического режима в прилегающем горном массиве, загрязнение подземных и приповерхностных вод, подтопление территории над шахтным полем.

Поднятие уровня шахтных вод и затопление выработок, сопровождается увлажнением горных пород и изменением их физико-механических свойств, что может повлечь за собой активизацию деформационных процессов в массиве [1, 2].

До настоящего момента исследования проводились лишь на локальных территориях. Ранее выполненные наблюдения за процессами на законсервированных горных отводах позволяют сделать прогнозы ситуаций, происходящих после намокания горного массива, однако полностью говорить о том, что их можно применить ко всем горно-геологическим условиям и для различных регионов нельзя. Не всегда учитывается комплекс горно-гидрогеологических особенностей конкретного месторождения и не рассматриваются технологические мероприятия применения схем отработки угольных пластов [3].

Геомеханическое состояние горного массива можно определить тремя составляющими:

- свойствами слагающих массив горных пород;
- структурными особенностями;
- напряженным состоянием.

Рассмотрим, как влияют структурные изменения в горном массиве на геомеханические процессы, происходящие в нем после намокания.

Одной из характеристик структурных изменений в массиве горных пород при его увлажнении являются возникновение зон водопроводящих трещин. Данные об их параметрах необходимы для рассмотрения вопросов образовавшихся гидравлических связей при «мокрой консервации» шахт и дальнейших прогнозов по предотвращению опасных ситуаций, связанных с деформационными процессами в горном массиве при его намокании, а также выхода воды на поверхность [4].

Под зоной водопроводящих трещин понимают часть подработанной толщи, в которой при выемке пластов образуются нормально-секущие трещины, сообщающиеся с выработанным пространством [5]. Данные по высоте водопроводящих трещин над выработанным пространством необходимы при решении целого ряда горнотехнических задач. Увеличение зон водопроводящих трещин может повлечь за собой значительное увеличение водо-

притока в горные выработки и как следствие изменение прочностных характеристик пород. При заполнении водой выработанного пространства будет происходить намокание пород кровли, последующая потеря её устойчивости и возобновление процесса обрушения и деформации нависающего горного массива, что может вызвать дополнительное оседание земной поверхности [3, 6].

Шахтные наблюдения показывают, что высота зоны обрушения и развития трещиноватости может развиваться в широких пределах и зависит от литологического строения породной толщи [7].

При исследовании вопросов, возникающих при выемке угля под затопленными горными выработками, выделяют зону водопроводящих трещин. Это трещины, которые образуются при протекании техногенных процессов, пересекают относительно водупорные пласты и гидравлически активно связаны с выработанным пространством [9]. При разработке угольного пласта зона так называемой сквозной трещиноватости может достигать вышележащего слоя водопроводящих пород [3].

В имеющихся научных публикациях [8, 9] основными факторами что, по мнению исследователей, оказывают влияние на высоту зоны водопроводящих трещин, являются:

- мощность отрабатываемого пласта;
- прочность вмещающих пород или степень метаморфизма углей;
- наличие определенного процентного содержания глинистых пород.

Но в этих работах не освещены вопросы учета глубины разработки, последовательности расположения в подработанной толще водопроводящих и водоупорных слоев, многократность подработки, а также не учитывается влияние угла падения слоев горных пород, хотя этот фактор влияет на картину сдвижения массива [6].

В зоне обрушения и в зоне трещинообразования породы претерпевают интенсивное дробление и разрыхление. В зоне рассредоточенной трещиноватости водопроницаемость осуществляется по плоскостям напластования пород и через трещины в слоях [4].

При рассмотрении характеристик горных пород необходимо учесть их механические свойства – класс физических свойств, характеризующих поведение (состояние) пород в условиях различных механических силовых воздействий.

Намокание пород кровли, последующая потеря её устойчивости, может привести к возобновлению процесса обрушения и деформации горного массива и как следствие этого вызывать увеличения показателей оседания земной поверхности, что вместе с поднятием уровня подземных вод может привести к её затоплению.

Технологический процесс выемки угля в очистном забое сопровождается обрушением пород в выработанное пространство. По мере увеличения вынимаемой площади процесс деформирования пород кровли и образования техногенных трещин захватывает еще большую область и может при определенных условиях достичь поверхности [6].

В научных публикациях, посвященных рассматриваемому вопросу [4, 8, 10], механизм деформирования слоистого массива разбит в следующей последовательности. Когда происходит прогиб слоя, в нем появляются растягивающие напряжения, при этом местоположение их максимальных значений совпадает с местоположением точек, имеющих максимальную кривизну. По мере увеличения пролета растет прогиб слоя и одновременно происходит перемещение точек с максимальными кривизной и растягивающими напряжениями. При определенной величине пролета растягивающие напряжения достигают предела прочности пород на разрыв. На верхней и нижней поверхности слоя начинают появляться поперечные трещины [4].

Дальнейшее увеличение пролета ведет к соответствующему росту растягивающих напряжений и развитию трещин. Но поскольку одновременно меняется местоположение точек с максимальной кривизной, меняется и местоположение трещин, т.е. появляются новые и закрываются старые, при этом глубина прорастания каждой последующей трещины больше предыдущей. Так происходит до тех пор, пока кривизна слоя, раскрытие и глубина трещины не достигнет своих максимальных значений, что обычно имеет место при полной подработке слоя. После этого увели-

чение пролета слоя не ведет к росту размеров трещин, а вызывает лишь изменение их местоположения [11]. И хотя трещина в верхней половине слоя будет к этому времени закрыта, это не восстанавливает нарушенную сплошность массива горных пород.

При рассмотрении механизма деформирования слоистого массива оценка состояния слоя сводится, в основном, к определению суммарной глубины трещин в различных его сечениях. Размер выработанного пространства, при котором происходит наибольшее развитие первичных трещин в слое, происходит при полной его подработке [1, 7].

Если расстояние до поверхности меньше, чем высота зоны водопроницаемых трещин при подработке, то может возникнуть опасность внезапных прорывов воды, либо существенного увеличения водопритока в действующие выработки [4].

Известно, что высота зоны трещиноватости пород кровли может составлять от 20 до 40 мощностей вынутаго пласта [3]. При затоплении выработанного пространства наиболее интенсивное намокание горного массива происходит в зонах влияния очистных выработок.

По данным Ивачева Л. М. [9] в антрацитовых районах Донбасса средняя высота зоны техногенной трещиноватости над отработанными лавами составляет 12-кратную вынимаемую мощность пласта. Трещины пересекают один или два породных слоя. Вполне естественно, что эти данные имеют ориентировочный характер и в них отсутствует анализ геомеханических процессов, происходящих в породах кровли.

На основе анализа [3] при подработанном горном массиве в Донбассе и Кузбассе, установлено, что на высоту зоны водопроницаемых трещин (H_m) над выработками неглубокого заложения, оказывает влияние глубина распространения выветренных пород. При мощности выветренных пород до 82 м высота зоны водопроницаемых трещин достигает $H_m = 30 \text{ м}$. Кроме этого, на величину H_m оказывает влияние вынимаемая мощность угольного пласта m , литологический состав пород кровли, мощность отдельных слоев пород, в том числе водоупорных. С увеличением мощности залегающего над выработкой слоя породы, уменьшается высота зоны водопроницаемых трещин. При вынимаемой мощности пла-

ста m от 0,5 м до 1,5 м и наличии в непосредственной кровле слоя пород, мощностью в 10 и более раз превышающей мощность пласта, зона обрушения не образуется [9].

Особо отмечается влияние на размеры зоны трещиноватых пород и распространение жидкости при наличии над выработкой мощного водоупорного (аргиллит или глинистый сланец) слоя пород.

Угольные пласты в процессе своего генезиса подвергаются действию повышенных напряжений. В результате они и вмещающие породы оказываются разбитыми системой трещин, которые ориентированы, как правило, по нормали к плоскости напластования. В процессе отработки угольного пласта в его краевой части под действием зоны опорного давления формируется система техногенных трещин, которые, обычно, ориентированы примерно нормально к плоскости напластования и параллельно линии очистного забоя. Расстояние между трещинами составляет от нескольких сантиметров до метров [11].

Исследования трещиноватости боковых пород и пласта были выполнены на шахте “Торецкая” на пласте k_8 “Каменка”. Для этого из штрека по нормали к пласту (угол падения пласта составляет 38°) бурились скважины на глубину 12 м с отбором керна. В результате изучения отобранного керна выявлена система эндогенной трещиноватости с шагом 0,8–0,9 м. В угольном пласте выявлена система трещин, расположенных под углом 87° к напластованию и шагом 0,5–0,6 м.

В процессе выемки угольного пласта происходит не только перераспределение напряжений в окружающем выработку горном массиве, но в сдвигение приходят породы почвы и кровли. В результате образуются трещины расслоения, которые являются проводниками дренируемой воды. Зона трещиноватости пород находится в прямой зависимости от влияния ведения очистных работ и в обратной зависимости от крепости разрушенных пород. По мере удаления от подрабатывающего пласта трещиноватость уменьшается по экспоненциальной зависимости (рис. 1).



Рис. 1. Графік залежності трещиноватості від відстані до розробляваного пласта

В результаті затоплення вироботанного простору шахтними водами при «мокрої» консервації відбувається зволоження оточуючого горного масиву, причому породи кровлі, які раніше піддавалися подрібненню та порушені тріщинами, зволажуються найбільш інтенсивно.

Після обробки пластів в горному масиві утворюються ділянки зон водопровідних тріщин. Як правило, це частина товщини, в якій при виемці пластів утворюється область, де спостерігається сукупність тріщин відшарування та нормальної секції тріщин в подрібнюваній товщині, які зв'язані з вироботаним простором розробляваного пласта [6, 7].

В таблиці 1 наведені дані величин зон водопровідних тріщин для різних горногеологічних умов. Проаналізувавши представлені дані, висоту (ЗВТ) можна зв'язати з ступенем метаморфізму та частково з методом управління кровлями [3].

Можливо передбачити, що з збільшенням ступеня метаморфізму вмещаючих порід висота (ЗВТ), збільшується. Це пояснюється наступними причинами:

- з збільшенням ступеня метаморфізму глинисті породи здатні до набухання, втрачають цю здатність;

- при процессах деформирования в глинистых породах трещины могут не образовываться, так как породы имеют хорошую пластичность;

- с ростом степени метаморфизма породы становятся более хрупкими, так как растет отношение пределов прочности на сжатие и растяжение;

- с ростом степени метаморфизма пород уменьшается зона сжатия при шарнирном деформировании отдельного слоя или пачки слоев и уменьшаются критические деформации вдоль напластования, что приводит к образованию водопродящих трещин в слое.

Таблица 1

Размеры зоны водопродящих трещин [3]

№ п/п	Марки угля	Способ управления кровлей	Зона водопродящих трещин с учетом вынимаемой мощности пласта, <i>m</i>
1	А	Полное обрушение кровли	52 m
2	А	Частичная закладка	44 m
3	ОС	"-"	70 m
4	Ж	Полное обрушение кровли	74 m
5	К	"-"	78 m
6	Д, Г	"-"	102 m

В научных работах, по рассматриваемому вопросу [8], отмечается также, что существенное влияние на величину водопродящих трещин оказывают протяженность выработанного пространства, а именно коэффициент подработанности массива.

Наблюдается, что высота зоны повышенной техногенной трещиноватости пород над выработанным пространством, может достигать значения в 30 мощностей вынутаго пласта 30 *m*. Это объясняется тем, что увлажненные породы и угли отличаются от

неувлажненных пониженными значениями предела прочности на одноосное сжатие и растяжение. Шахтные воды слабощелочные ($\text{Ph} = 7,85 - 8,00$) очень жесткие, вспенивающиеся, сильно агрессивны к бетонам и металлическим конструкциям. Такие свойства воды делают её своеобразным раствором, которые, как известно, способствуют интенсивному прорастанию трещин, в угле и горных породах. При этом будет происходить пропитка горного массива водой, как по магистральным трещинам, так и по микротрещинам. В зонах повышенного горного давления физико-механические свойства угольных пород на порядок меньше, чем в зонах разгрузки, следовательно, над выработанным пространством в лавах, в деформированном породном массиве будет происходить наиболее интенсивно процесс увлажнения и прорастания новых трещин. Вследствие чего физико-механические свойства горного массива в области увлажнения будут изменяться. В соответствии с этим была предложена следующая эмпирическая формула, выведенная для определения высоты зоны водопроводящих трещин:

$$H_T = K_n \cdot m \cdot \cos\alpha \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}A\right), \quad (1)$$

где K_n – коэффициент подработанности массива;

m – мощность разрабатываемого пласта, м;

α – угол падения пласта, град;

A – содержание пород глинистого состава (алевролитов, аргиллитов, глинистых сланцев и пр.) в долях от подрабатываемой толщи.

Для определения зон трещиноватости горных пород над выработанным пространством выполнен анализ горных работ на шахте «Запореваляная» № 2 ПО «Донецкуголь». При выемке угля в очистном забое по пластам $h_6, h_7, h_8, h_8, h_{10}$, способ управления кровлей – полное обрушение пород в выработанное пространство. По мере увеличения размеров выработанного пространства происходило деформирование пород кровли и образование в ней системы трещин.

Анализ горногеологических и горно-технических условий шахты «Запореваляная» № 2 показал, что пласты, как правило,

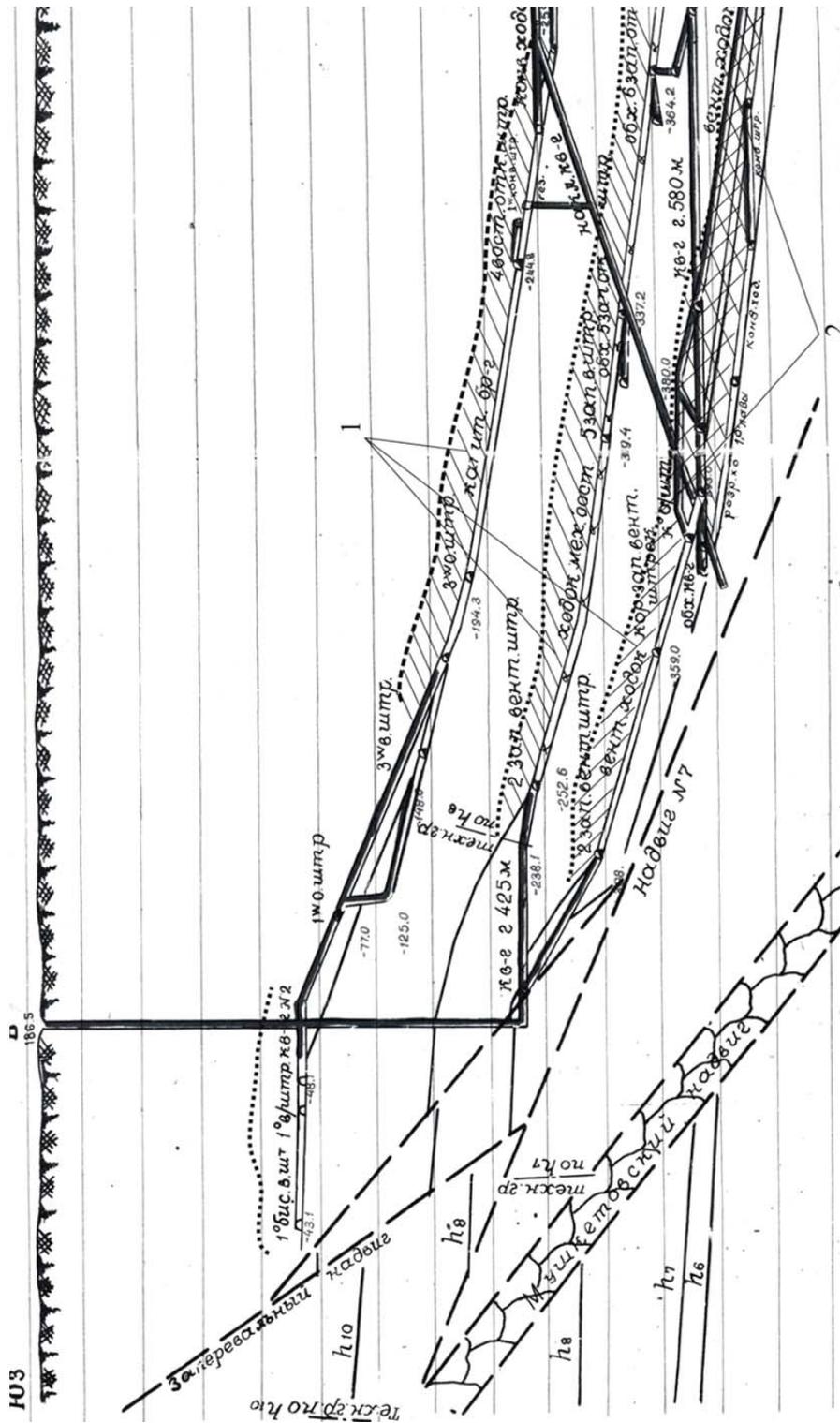
отрабатывались лавами длиной 120 – 160 м. Учитывая тот факт, что для охраны штреков оставались угольные целики размерами 4 – 6 м, можно предположить, что процесс деформирования и обрушения пород кровли с образованием системы трещин проходил в этих условиях менее интенсивно и высота зоны трещиноватости меньше.

Проанализировав данные состава пород междупластья, установлено, что наличие (до 70 %) глинистых и песчано-глинистых сланцев, ведет к тому, что эти породы деформируются пластичнее, чем песчаники. В этих условиях трещины будут также заполняться глинистым веществом из сланцев, что уменьшает высоту зоны трещиноватости. Поэтому размеры высоты зоны трещиноватости пород кровли можно оценить в $30 m$ (m – мощность вынутаго пласта). Проанализировав данные о горногеологических и горно-технических условиях, были отстроены контуры зон водопроводящих трещин над пластами $h_6, h_7, h_8, h_8', h_{10}$.

На рисунке 2 представлена схема образования системы водопроводящих трещин над отработанными пластами шахты «Заперевальная» № 2. Наиболее интенсивно намокание горных пород происходило в зонах влияния очистных выработок. Необходимо также учитывать угол падения пласта, т.к. с его увеличением картина сдвижения массива существенно изменяется.

По шахте «Заперевальная» № 2 над отработанным пространством пластов h_7, h_6 , будет наиболее обширная зона образования водопроводящих трещин, а суммарная мощность увлажненного массива на этом участке по расчетным данным составила (42-47) м. При соединении зоны трещиноватости с выработанным пространством вышележащего пласта в случае затопления будет создаваться объединенная система образования водопроводящих трещин, в пределах которой намокание горных пород будет происходить весьма интенсивно.

При затоплении выработанного пространства вследствие образования зон повышенной трещиноватости в горном массиве образуются зоны сильно увлажненных и менее увлажненных горных пород (поскольку при затоплении горного массива вода будет, так или иначе, проникать во все породы).



1. Контуры зон водопроводящих трещин над выработанным пространством по пластам $h_8, h_8', h_{10}, h_{10}'$;
 2. контуры наиболее обширной зоны водопроводящих трещи над выработанным пространством по пластам h_6, h_7 .

Рис. 2. Схема зон образования системы водопроводящих трещин (схема вскрытия ш. «Запечевальная» № 2).

Выводы

1. Заполнение водой образовавшихся водопроводящих трещин над выработанным пространством приводит к интенсивному намоканию вышележащей толщи массива горных пород, уменьшению его прочностных характеристик и как следствие - активизации деформационных процессов.

2. Зона трещиноватости пород находится в прямой зависимости от влияния ведения очистных работ и в обратной зависимости от крепости разрушенных пород.

3. Основными факторами, оказывающими влияние на высоту зоны водопроводящих трещин, являются:

- мощность отрабатываемого пласта;
- прочность вмещающих пород или степень метаморфизма углей;
- наличие определенного процентного содержания глинистых пород.
- порядок расположения в подработанной толще водопроводящих и водоупорных слоев;
- учет глубины разработки;
- влияние угла падения угольных пластов;
- многократность подработки.

4. Техногенные изменения в структуре горного массива могут вызвать дополнительные напряжения в нем, что приведет к активизации процессов деформирования горных пород, в том числе и в динамической форме.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Земисев В. Н. Расчеты деформаций горного массива / В. Н. Земисев — М. : Недра, 1973. — 144 с.
2. Черняк И. Л. Управление состоянием массива горных пород / И. Л. Черняк, С. А. Ярунин. — М. : Недра, 1995. — 395 с.
3. Питаленко Е. И. Геомеханические процессы отработки крутых пластов: новые исследования и решения / Е. И. Питаленко, С. Б. Кулибаба, Ю. Н. Гавриленко, М. Г. Тиркель, Ю. А. Пивень. — Донецк, 2007. — 382 с.

4. Проскураков Н. М. Управление состоянием массива горных пород / Н. М. Проскураков. — Москва : «Недра». 1991. — 368 с.
5. Методические указания по натурному определению высоты зоны водопроницаемых трещин над выработанным пространством в конкретных горногеологических условиях / Б. Я. Гвирицман, Ф. П. Стрельский : Мин-во угольн. пром-ти. ВНИМИ. — Ленинград. 1973. — 30 с.
6. Иофис М. А. Инженерная геомеханика при подземных разработках [Текст] / М. А. Иофис, А. И. Шмелев. — М. : Недра, 1985. — 248 с.
7. Ануфриев В. Е. Влияние трещиноватости и напряженного состояния горного массива на безопасность и ТЭП работы очистных забоев [Текст] / В. Е. Ануфриев, С. А. Батугин, А. А. Боев, Л. А. Орлов // Перспективы прогнозирования горногеологических условий разработки угольных пластов Донбасса. — М. : 1975. — С. 112—114.
8. Патент РФ № 2477792 Способ определения высоты зоны водопроницаемых трещин над выработанным пространством на пластовых месторождениях / Гусев В. Н., Миронов А. С., Ильюхин Д. А.; заяв. и патентооблад. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный университет", заявлено 11.10.2011, опубликовано 20.03.2013.
9. Ивачев Л. М. Борьба с поглощениями промывочной жидкости при бурении геологоразведочных скважин. [Текст] / Л. М. Ивачев. — М. : Недра, 1982. — 156 с.
10. Мэркс И. Горная механика [Текст] / И. Мэркс, Г. Юнгниц. Углетехиздат, 1957. — 756 с.
11. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов [Текст] / А. А. Борисов. — М. : Недра, 1980. — 320 с.
12. Баклашов И. В. Механика горных пород [Текст] / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. — М. : Недра, 1975. — 272 с.