

УДК 553.93:556.334

**А.В. Мохов**

**ТРАНСФОРМАЦИЯ НАПРЯЖЕННО-  
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ГОРНОГО МАССИВА ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗАТОПЛЕНИЯ  
КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ШАХТ**

*Обнаружены проявления динамизма напряженно-деформированного состояния горного массива (периодическое новообразование, пульсация раскрытости, трансляция трещин, скачки уровня затопления выработок, сотрясения и локальные разрушения горных пород и строительных конструкций) вокруг затопленных каменноугольных шахт. Их причиной служит воздействие архимедовых сил, порождающих формирование и разрядку поля механических напряжений в дискретном режиме.*

*Ключевые слова: угольные шахты, системы затопленных выработок, напряженно-деформированное состояние массива, трансформация.*

**Л**иквидация угольных шахт с затоплением горных выработок сопровождается преобразованием сплошности и напряженного состояния больших областей геологического пространства.

Имеются разнообразные проявления и признаки такой трансформации, причинно-следственная связь которой с затоплением несомненна.

О механических процессах внутри массива делают выводы преимущественно на основе случайных и косвенных сведений, опираясь на известную или предполагаемую корреляцию его напряженно-деформированного состояния (НДС) с различными наблюдаемыми событиями. Тем не менее, на этой основе, а также путем привлечения дополняющих друг друга разнородных данных, в том числе и по различным объектам, могут быть во многих случаях получены вполне надежные сведения о трансформации породной среды.

В настоящее время главное информационное значение имеют в

этой связи различные гидрогеологические события, включая водопроявления в горных выработках. На основе их фиксации и изучения получены данные о механических преобразованиях горных пород вокруг систем затопленных выработок.

Случаи трансформации фильтрационной структуры и проницаемости горного массива в связи с затоплением шахт до недавнего времени практически не привлекали внимание исследователей, не замечались или не распознавались ими. Так, известный прорыв воды в шахту «Западная» в Восточном Донбассе (октябрь 2003г.) связывается рядом специалистов с разрушением околоствольных тампонажных завес, а повышенный переток через барьерный целик в том же районе (это гидродинамическое событие рассматривается ниже) – с последствиями сдвижения тектонически нарушенных пород [1]. Возможность формирования новых каналов фильтрации иного происхождения при этом не учтена. Вместе с тем, имеются не-

оспоримые данные о развитии подобных эффектов, которые были обнаружены автором статьи и получили первое объяснение в его публикациях, например в [2, 3].

В настоящей статье рассматривается ряд преимущественно гидрогеологических материалов, свидетельствующих о трансформации проницаемости, соответственно НДС, массива у подземных водных объектов, выясняются их направленность, характеристики и некоторые особенности.

Рассматриваемые геомеханические события получили широкое распространение в Восточном Донбассе, где имеется значительное количество шахт, ликвидированных с затоплением выработок.

Здесь зафиксирован упомянутый выше случай неожиданного поступления большого объема воды через ранее водонепроницаемый барьерный углепородный целик. Переток из затопленной шахты «Несветаевская» в действующую шахту «Соколовская» развился при достижении гидростатического давления на него величины 115—120 метров водяного столба с существенным (около 7-9 месяцев) отставанием от начала подтопления основания целика. В целом нарастая, с определенного момента приток приобрел пульсирующий характер, будучи способным, например, в суточном разрезе резко увеличиться, затем снизиться и вновь возрасти (соответственно, с 60 до 200, до 150, до 175 м<sup>3</sup>/ч). Его увеличение и стабилизация имели место также при существенном снижении уровня затопления, соответственно, ослаблении гидростатического давления на целик и снижении градиента гидравлического напора.

Такое развитие событий свидетельствует о невозможности объясне-

ния отставания первых водопроявлений от затопления за счет фактора «время добегания». Подобный режим расхода потока обусловлен быстрым приращением и, напротив, снижением проницаемости пород целика. Развитие перетока связано с приобретением массивом высокой водопроницаемости в результате появления фильтрующих трещин расслоения на ширину целика (до 100 м) со средней раскрытостью величиной несколько миллиметров.

Данные наблюдений за водопроявлениями в выработках и результаты межскважинной электроинтроскопии целика показывают, что переток развился в основном по слоям песчаников кровли разрабатываемого угольного пласта.

Выявленная динамика водопроявлений позволяет сделать вывод о возможности многократного разуплотнения и обратного уплотнения пород и пульсации трещинообразования, а также указывает на проявление триггерного эффекта. Она иллюстрирует случаи возникновения трещин в вялотекущем режиме и со слабовыраженным обострением, свидетельствуя о локальном циклическом по характеру снижении и нарастании механических напряжений массива.

Правомерность сделанных выводов подтверждают приведенные ниже результаты анализа данных о гидрогеологической обстановке на соседних шахтах.

Типологически близкой, но еще более яркой является трансформация НДС массива на шахте «Западная», где происходило образование водопроницающих каналов в различных режимах обострения, приведшее к поступлению притоков воды в шахту с дебитом до 50000 м<sup>3</sup>/ч. Наиболее

крупные водопроявления происходили в форме прорывов. Они имели катастрофические последствия и получили широкое освещение в средствах массовой информации и научно-технических публикациях.

Источником поступления основных объемов воды явились затопленные выработки и выработанное пространство на вышележащих пластах старых шахт, где на площади свыше 100 км<sup>2</sup> сформировался глубокий весьма крупный водный объект. Перетоки отсюда в шахту «Западная» происходили по стволам, проходящим сквозь породную толщу с затопленными выработками, отделенными прорезанными или сплошными целиками. Особенно значительные водопроявления наблюдались в стволах, находящихся у наиболее глубокой части водного объекта.

На первом этапе его формирования притоки в стволы были незначительны; затем они стали постепенно нарастать, несмотря на стабилизацию степени затопления шахт. Разрастание водного объекта с новым подъемом уровня вскоре привело к приращению притока в режиме слабо выраженного обострения.

На этих этапах водопроявления имели рассредоточенный и пульсирующий вплоть до прекращения характер. Наблюдались миграция выходов воды вдоль оси стволов и вдоль их периметра, а также несинхронность величины и динамики водовыделений в различных стволах, не имевшие заметной связи с ходом гидрометеорологических факторов.

Затем произошли два крупных прорыва воды через стволы блоковый вентиляционный № 1 (февраль 2003 г.) и главный ствол № 2 (октябрь 2003 г.). Второй из них приобрел широкую известность.

Если начальная стадия первого прорыва продолжалась около 1 месяца и он, развиваясь довольно медленно, поступал поначалу по раскрывавшейся рывками трещине, что фиксировалось визуально, то для развития второго прорыва потребовалось несколько минут и его поступление оказалось внезапным.

На зрелой стадии оба прорыва имели прерывистый характер, представляя собой цепочку импульсов (не менее 5 у первого и около 20 у второго прорыва) притока, периодически возрастающего до 10-15 м<sup>3</sup>/с и снижающегося до незначительного в течение нескольких минут или десятков секунд. Период пульсации второго прорыва составлял 2-3 часа. Подобный режим имел место как до, так и в ходе засыпки обоих стволов породным и иным материалом для борьбы с прорывом. Подобное мероприятие не оказало существенного влияния на ход прорывов и можно констатировать фактически их самопрекращение.

По завершению обоих прорывов происходило дальнейшее снижение притока в стволы, несмотря на подъем и восстановление уровня затопления старых шахт.

Как и в рассмотренной ситуации у барьерного целика, режим наблюдавшихся водопроявлений отразил возможность новообразования, прерывистость формирования каналов поступления притока, колебания их живого сечения во времени. Появление этих каналов служит свидетельством разгрузки массива. О течении процессов противоположной направленности имеются в основном косвенные данные. «Мерцающий» характер выходов шахтных вод в выработки отражает пульсацию НДС породной среды.

Пульсация притоков при снижении или стабильном положении уровня затопления пустотного пространства отражает автономность развившегося трещинообразования от гидростатического давления на интервал перетекания.

Типология рассмотренных гидродинамических событий указывает на их причинно-следственную связь с изменением НДС. Его вариации могут быть объяснены с привлечением эмпирических данных о реакции породных толщ на водопонижение и водонасыщение. Последний процесс получил развитие на рассматриваемых объектах в ходе затопления техногенного и естественного пустотного пространства старых шахт.

Как известно, изменение водонасыщенности вызывает деформирование массива.

Данный эффект проявляется, в частности, в перемещениях и деформациях земной поверхности на участках водопонижения и осушения. Оседание поверхности массива скальных и полускальных пород достигает десятков сантиметров. Наблюдается также дифференцированное горизонтальное смещение различных частей массива, причём на поверхности возможно появление протяженных, глубоких широко раскрытых трещин.

Водонасыщение вызывает воздымание и аналогичные деформации земной поверхности. Степень трансформации зависит при этом от амплитуды изменения уровня подземных вод.

Эти явления служат, очевидно, следствием изменений полного и эффективного давления в результате появления дополнительных деформирующих сил. Происхождение рассматриваемых эффектов связывается

К.Терцаги и его последователями с сокращением и, напротив, возобновлением взвешивающего действия воды – сил архимедова взвешивания.

Естественно ожидать проявления подобных событий внутри массива, порождаемых силами уплотнения (при осушении пород) и разуплотнения (при водонасыщении пород).

Силы архимедова взвешивания, возникающие вокруг новообразованного подземного водного объекта, служат, по нашему мнению, общей причиной рассмотренных гидродинамических явлений. Разгружая водовмещающий массив, они создают в нем новое поле механических напряжений, разрядка которого может происходить как в довольно спокойном вполне монотонном, так и скачкообразном режиме, в последнем случае сопровождаясь образованием и трансляцией в боковых породах зияющих трещин.

На основе суммы данных можно заключить, что основные каналы поступления воды в стволы шахты «Западная» были приурочены к слоям песчаников. Такое тяготение связано со склонностью данных породных тел к концентрации и быстрому активному высвобождению напряжений сжатия [3].

По нашим оценкам протяженность проводящих полостей трещинного типа составляла не более 150м, максимально достигаемая раскрытость у стенки стволов – около 10см. Как свидетельствуют особенности водовыделений в главном стволе № 2 и соседнем клетевом стволе № 2 непосредственно перед вторым прорывом, морфологически эти трещины представляют собой тонкие линзы. Зарождающаяся у самой глубокой части водного объекта, трещины распространя-

ются отсюда по напластованию внутри и на внешних поверхностях, а также в разрезе слоя.

Анализ приведенных данных выявляет существование бароградиентных и временных условий старта разуплотнения и трещинообразования.

Так, явный рост притока воды в стволы главный № 2 и клетевой № 2 шахты «Западная» (от нескольких до 30 и 60 м<sup>3</sup>/ч соответственно) развился вскоре после затопления на глубину 70 м выхода песчаника в водный объект - водонасыщенный техногенный массив. Повышение глубины затопления и разуплотняющего давления на слой этих пород величиной 160 м водяного столба вызвало через 22 месяца скоротечное формирование прорывопроводящих, то есть весьма существенно раскрытых трещин.

Заслуживает внимания тот факт, что количество импульсов прорыва, соответственно, крупных фаз трещинообразования явно прямо связано с мощностью слоя и численно близко значению этого показателя, выраженному в метрах. Данное обстоятельство можно рассматривать как указание на стабильность расстояния – в среднем около 1 м – между трещинами расслоения смежных генераций. Стабильность пиковых значений притока служит признаком равнораскрытости прорывопроводящих трещин и соответственно равенства «квантов» трансформирующих напряжений.

Приведенные данные свидетельствуют о возможности генерации крупным подземным водным объектом трещин разуплотнения резко дифференцированной по величине и динамике проницаемости.

При этом интенсивное прорывоопасное трещинообразование на-

кладывается на вялотекущее, не являясь, вероятно, его безусловным развитием.

Вблизи затопленных шахт имеются и другие признаки трансформации массива, в частности, сейсмические события, явно отражающие изменение его напряженного состояния. Сопрясения территории являются обычным явлением, например, в Кузбассе.

В ходе второго прорыва в выработках шахты «Западная» отмечены сильные, подобные горным ударам сотрясения у главного ствола № 2. Они предшествовали поступлению оттуда очередного импульса притока и фиксировали возникновение прорывопроводящих трещин.

К явным признакам динамизма НДС правомерно отнести скачки уровня затопления шахт с последующим возвращением его на исходную отметку, которые фиксировались в клетевом стволе шахты «Глубокая». Первый зафиксированный и наиболее крупный из них (июнь 1999 г.) произошел на высоту около 67 м, длился, по-видимому, не более 1 минуты, второй (январь 2000 г.) – имел меньшую амплитуду и несколько большую продолжительность. В дальнейшем многократно отмечались новые случаи практически «мгновенного» подъема уровня воды (на высоту до 6 м) с увеличением притока в ствол.

Тот же характер имеет реакция подземных вод в ходе землетрясений, что позволяет провести содержательную аналогию между этими событиями и указать непосредственную причину скачка уровня затопления – резкое изменение НДС массива. Прекращение прорывов на шахте «Западная» в режиме «обрыва» фиксирует как завершение процесса распространения трещин в разрезе, так и

разрядку напряжений до уровня, недостаточного для формирования прорывоопасных трещинных каналов.

В одном ряду с этими эффектами находится реакция насыпных массивов в стволах: резкое снижение уровня породного заполнения в результате его периодического (из главного ствола № 2 в ходе второго прорыва на шахте «Западная») или эпизодического (из вспомогательного ствола соседней шахты им. Ленина) ухода в смежные выработки. В дни (день?) первого скачка уровня воды на шахте «Глубокая» зафиксировано проседание заполнителя в ликвидированном стволе.

После первого скачка проведенное на шахте «Глубокая» обследование выявило разрушение полков в клетевом и соседнем скиповом стволах, а также бетонного пола соединяющей стволы горизонтальной выработки на сопряжении с ними, «заворот» рельсов в горизонтальной плоскости у клетевого ствола. В ходе скачка горняки, находившиеся непосредственно в указанной выработке, слышали низкочастотный гул и содрогание недр. Аналогичными оказались ощущения местных жителей на поверхности в окрестностях стволов. Периодические сотрясения, вызвав псевдооживление насыпной массы, явились вероятной причиной ухода ее из стволов в шахту.

Разрушение крепи и обрушение пород зафиксированы также на сопряжениях выработок околоствольного двора главного ствола № 2 шахты «Западная» в ходе прорыва воды сюда. Эти события и их локализация типичны для зон концентрации напряжений, создаваемых динамическими воздействиями.

В пользу правомерности изложенной системы представлений о причи-

нах и механизме прорывов в стволы, увеличения перетоков через целики, причинно-следственной связи этих водопроявлений с сейсмическими событиями свидетельствуют, по нашему мнению, сейсмические эффекты, наблюдающиеся вокруг крупных водохранилищ при всех различиях сравниваемых объектов.

Здесь, при заполнении водохранилища, либо, напротив, сработке запасов воды в нём происходят землетрясения магнитудой до 6,5 единиц, возникновение которых чётко коррелирует с уровнем заполнения водой и темпом движения последнего [4]. Этим эффектам сопутствует изменение структуры и нарушенности недр.

Характерной особенностью сейсмических событий служит (согласно [4]):

локализация возбужденных землетрясений в области радиусом до 30 км от створа крупных гидроузлов;

часто отмечаемая связь сейсмической активности с движением вверх-вниз уровня водохранилища, причём проявления сейсмичности отстают на один-два месяца;

наличие своеобразного «порога срабатывания»: как правило, активизация землетрясений наступает в тех случаях, когда уровень (т.е., глубина) водохранилища превышает 90–100 м (при объёме более 10 км<sup>3</sup>).

Возникновение и частота землетрясений зависит не столько от глубины водохранилища, сколько от скорости повышения или понижения уровня (на Нурекском водохранилище этот порог составлял 2 м/сут.). Вероятность сейсмопроявлений при этом тем выше, чем больше площадь водохранилища, а их эпицентры постепенно смещаются к центру нагрузки от воды в водоёме [4].

Сравнивая обстановку вокруг крупных водохранилищ и таких масштабных водных объектов как затопленные шахты, легко заметить определённую аналогию в поведении горного массива.

Следует отметить близость пороговых значений глубины затопления шахты и заполнения водохранилищ для запуска землетрясений – и в том и другом случае около 90–115 м. Пункты прорывоопасного трещинообразования на шахте «Западная» также находились вблизи самой глубокой части водного объекта.

Приведенные данные указывают на возможность весьма существенной и скоротечной самопроизвольной трансформации горных массивов вокруг крупного подземного водного объекта. При этом отдельные элементы породной среды (прежде всего, слои песчаников) проявляют способность резко в дискретном режиме с дезинтеграцией высвобождать при разгрузке накопленную энергию сжатия. По-видимому, та же тенденция характерна для приращения мощности разгруженных элементов массива.

Реализация вторичных напряжений происходит в форме упругого

расширения и сжатия скелета с распространением объёмных сил в виде бегущих в разрезе слоёв и вдоль напластования квазиволн с сопутствующей генерацией трещин и вариациями скважности. Исчерпание избыточного запаса энергии вызывает прекращение трещинообразования.

Смыкание трещин свидетельствует о развитии тенденций к переходу массива в менее нарушенное состояние. Данное явление служит отражением противодействия системы «горная выработка – породный массив» и отдельных её элементов нарушающим воздействиям и направленности естественных процессов если не на возвращение в исходное, то на стабилизацию некоторого устойчивого НДС. Такие эффекты служат проявлением способности системы к саморегуляции своего состояния.

Эти выводы представляют определённый интерес для теории геомеханических процессов и имеют существенное прикладное значение при решении вопросов эксплуатации полезных ископаемых вблизи затопленных систем горных выработок.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Норватов Ю.А., Петрова И.Б. Гидрогеологическое обоснование мероприятий по обеспечению производственной безопасности при ликвидации шахт /Современные проблемы безопасной разработки угольных месторождений: Координационное совещание. 22-24 ноября 2005г.: Сб. докладов. СПб.: ВНИМИ, с.143-146.

2. Мохов А.В. О путях профилактики прорывов воды из затопленных каменно-уго-

льных шахт //Новые идеи в науках о Земле: Материалы докладов междунар. конф. — Т. 4. — МГРА. — М., 2005. — С. 136.

3. Мохов А.В. Трещинообразование под влиянием затопления угольных шахт и его гидродинамическое значение /ДАН, 2007, том 414, № 2, с.223-225.

4. Молоков А.А. Взаимодействие инженерных сооружений с геологической средой. – М.: Недра, 1988. – 222 с. **ПЛАБ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Мохов Александр Владимович — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, инженер-гидрогеолог, ведущий научный сотрудник Южного научного центра Российской Академии наук, mochov@ssc-ras.ru; mokhov\_av@mail.ru.