

**В.Н.ГУСЕВ, д-р техн. наук, профессор, kmd@spmi.ru**

**Е.С.РОЖНОВ, аспирант, rozhnov86@mail.ru**

*Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)*

**V.N.GUSEV, Dr in eng. sc., professor, kmd@spmi.ru**

**E.S.ROZHNOV, post-graduate student, rozhnov86@mail.ru**

*Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)*

## **СДВИЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ СЛОЕВ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С ОБРАЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ВОДОПРОВОДЯЩИХ ТРЕЩИН**

Изложен механизм образования техногенных трещин (трещин расслоения и нормально-носекущих трещин), включая водопроводящие при первичной и повторных подработках слоев массива горных пород на угольных месторождениях. Показана возможность применения метода типовых кривых для оценки развития техногенных водопроводящих трещин.

**Ключевые слова:** трещины расслоения, нормально-носекущие трещины, техногенные водопроводящие трещины, метод типовых кривых.

## **SUBSIDENCE AND DEFORMATIONS OF LAYERS OF THE MASSIF OF ROCKS WITH FORMATION OF TECHNOGENIC WATER SPENDING CRACKS**

The mechanism of formation of technogeny cracks (cracks of stratification and perpendicular flog cracks), including water spending is stated at primary and repeated mine layers of massif of rocks on coal deposits. It is shown possibility of application of a method of typical curves for an estimation of development of technogeny water spending cracks.

**Key words:** cracks of stratification, perpendicular flog cracks, technogeny water spending cracks, method of typical curves.

При отработке угольных пластов нарушается естественное равновесие массива горных пород, в результате чего массив деформируется и сдвигается. Непосредственно над выработанным пространством угольного пласта образуется зона обрушения. Породы этой зоны подвергнуты наибольшим деформациям, вследствие чего они разделены на отдельные куски и блоки нерегулярных размеров, беспорядочно обрушенные в выработанное пространство. Очевидно, что проникновение воды через такую техногенную зону будет происходить беспрепятственно. Параметры этой зоны можно приблизенно оценить по формуле профессора С.Г.Авершина [1]:

$$h = \frac{m}{(k-1)\cos \alpha},$$

где  $h$  – высота зоны обрушения, из опыта ведения горных работ принимают равной 2-6 м;  $m$  – вынимаемая мощность пласта;  $k$  – коэффициент увеличения пород в объеме (для каменноугольных пород колеблется от 1,1 до 1,5);  $\alpha$  – угол падения пласта.

Двигаясь в направлении к поверхности, зона обрушения переходит в зону, где слои не потеряли своей сплошности. В этой зоне максимальная кривизна слоев уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния от пласта до рассматриваемого слоя. В результате такого распределения нижележа-

жащий слой изгибаются больше вышележащего, что способствует расслоению и образованию полостей отслоения (см. рисунок). За счет отслоений происходит разуплотнение массива. При этом максимальное разуплотнение (раскрытие полостей отслоения) наблюдается вблизи пласта (см. рисунок, а) и постепенно уменьшается к поверхности (см. рисунок, б). В сечениях, удаленных от забоя в сторону выработанного пространства, наблюдается некоторое закрытие отслоений, происходит частичное уплотнение массива.

При изгибе слоев, расположенных выше зоны обрушения, один и тот же участок любого слоя сначала претерпевает изгиб положительной кривизны, затем изгиб отрицательной кривизны. В местах изгибов с максимальными значениями кривизны образуются нормальносекущие слой трещины. При положительной кривизне в верхней части совместно прогибающейся пачки слоя (в дальнейшем ее будем называть просто слоем), где имеет место растяжение, наблюдается образование и раскрытие трещины, а в нижней части – сжатие. Затем по мере подвигания забоя этот участок слоя претерпевает изгиб отрицательной кривизны. При этом в нижней части слоя уже будут деформации растяжения с раскрытием нормальносекущих трещин, а в верхней части происходит их закрытие с образованием зоны сжатия. Таким образом, процесс развития нормальносекущей трещины происходит с нижней и верхней части слоя навстречу друг другу. Между образовавшимися соседними нормальносекущими трещинами в слое формируется блок размером  $c$ . При дальнейшем подвигании забоя отрицательная кривизна становится примерно равной нулю (формирование участка плоского дна мульды). Этот процесс знакопеременных изгибов повторяется в слое через величину  $c$ .

Вблизи зоны обрушения, где деформации кривизны большие, нормальносекущие трещины, прорастая навстречу друг другу, разбивают слой на всю его мощность (см. рисунок, а). По мере удаления от пласта к поверхности, т.е. по мере уменьшения кривизны слоев, проникновение и рас-

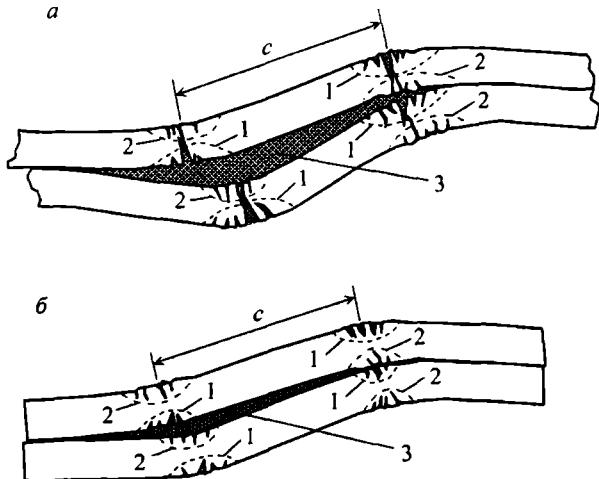


Схема образования техногенных трещин в слоях, расположенных вблизи пласта (а) и на некотором удалении от него (б)

1 – зона растяжения; 2 – зона сжатия; 3 – полость отслоения;  
 $c$  – размер блока

крытие трещин пропорционально этому уменьшению. В результате на некотором расстоянии по нормали от пласта  $H_t$  имеется слой, в котором эти трещины проникли не на всю его мощность. Такой слой относительно нижележащих слоев сохраняет свои водоупорные свойства и к нему приурочивается верхняя граница зоны водопроводящих трещин (ЗВТ). Максимальное значение кривизны слоя, приуроченного к верхней границе ЗВТ, называется граничной кривизной [2]. Ниже этого слоя расположена собственно зона водопроводящих трещин, которая, как следует из изложенного, состоит из двух гидравлически связанных между собой систем техногенных трещин: расслоения и сквозных нормальносекущих. По этим каналам, если верхняя граница ЗВТ дойдет до нижней границы водного объекта, вода начинает поступать в выработанное пространство. Поскольку степень трещиноватости зоны увеличивается в направлении от слоя на верхней границе ЗВТ к пласту, то в зависимости от того, насколько верхняя граница ЗВТ выше нижней границы водного объекта, в выработки вода будет поступать либо в виде фильтрации, либо в виде прорыва.

В слоях выше ЗВТ деформации кривизны меньше граничной, проникновение нор-

малносекущих трещин происходит не на всю мощность слоев, т.е. в середине слоя остается ненарушенный малносекущими трещинами участок (см. рисунок, б). По мере удаления от пласта это проникновение магистральных трещин все меньше, соответственно мощность ненарушенного водонепроницаемого участка слоя все больше. И несмотря на то, что здесь тоже образуются расслоения за счет изгибов и полости отслоения (правда, не такие большие, как в ЗВТ), гидравлической связи между вышележащими и нижележащими расслоениями не будет. Так формируется зона водопроводящих трещин при выемке первого пласта свиты, т.е. в условиях первичной подработки.

При подработке массива такой структуры вторым пластом свиты в зоне полных сдвигов первого пласта процессы деформирования будут протекать следующим образом. Слои между пластами (массив между первым и вторым пластами свиты) деформируются как при первичной подработке. Слои над отработанным первым пластом подвергаются повторному изгибу и, как показывают натурные наблюдения за сдвигением и деформациями массива, кривизна всех повторно подрабатываемых слоев одинакова, т.е. слои вписываются друг в друга без образования полостей отслоения, и равна по абсолютной величине кривизне, получаемой на поверхности согласно существующему методу расчета, основанному на методе типовых кривых [4]. Аналогичная картина будет наблюдаться при выемке третьего пласта свиты в зоне полных сдвигов первого и второго пластов. Только в этом случае абсолютные значения максимальной кривизны повторно подрабатываемых слоев будут меньше, чем при выемке второго пласта свиты, так как глубина разработки будет несколько больше. Слои при изгибе здесь так же вписываются друг в друга без зависания.

Поскольку процессы повторных деформаций слоев рассматриваются в зоне полных сдвигов, то каждый слой массива, испытав изгиб положительной и отрицательной кривизны, переходит в плоское дно мульды сдвига, где кривизна становится

примерно равной нулю. Изгиб слоев происходит в местах образовавшихся нормально-секущих трещин от выемки первого пласта свиты, т.е. размеры блоков (с на рисунке) остаются неизменными. При этом раскрытие этих трещин происходит на меньшую величину по сравнению с той, которая была при первичной подработке этих слоев, так как кривизна слоев при повторных подработках меньше, чем от первичной подработки. Таким образом, условий для развития трещин до сквозных в тех слоях, где они не сквозные, нет. Следовательно, верхняя граница зоны водопроводящих трещин останется в том же слое и сама зона не увеличится при выемке второго, третьего и т.д. пластов свиты. Отсюда следует, что наиболее благоприятными условиями подработки водных объектов является бесцеликовая выемка пластов свиты, обеспечивающая попадание водного объекта в зону полных сдвигов. Это позволит уменьшить потери и снизить вредное воздействие на окружающую геологическую среду.

Если при отработке свиты пластов в зоне полных сдвигов накопление деформаций происходит в виде отдельных воздействий на массив по количеству отрабатываемых пластов, то при полном или частичном совпадении границ выработок по пластам свиты происходит накопление деформаций в виде их сложения от каждого из отрабатываемых пластов. При полном совпадении границ сложение деформаций максимально возможное, при частичном совпадении границ взаимного положения выработок по различным пластам добавка деформаций к суммарным может составлять от нуля до максимально возможной в данных условиях. Количественно величина добавки деформаций пропорциональна степени совпадения границ выработок [3]. Степень совпадения границ выработок по различным пластам свиты можно определить через прогноз зон влияния сдвигов и деформаций от этих отрабатываемых пластов, основы которого изложены в существующем методе расчета сдвигов и деформаций [4].

Таким образом, при выемке второго (нижележащего) пласта свиты общая кривизна слоев над ранее отработанным первым

пластом возрастет, вследствие чего значение граничной кривизны переместится в слой, расположенный дальше по нормали от выработанного первого пласта. Соответственно этому переместится верхняя граница ЗВТ и ее высота относительно первого пласта возрастет. Последняя может быть определена из условия накопления деформаций кривизны на верхней границе этой зоны в зависимости от взаимного положения нижних (верхних) границ горных работ первого и второго пластов. Аналогичные деформационные процессы изменения параметров зоны водопроводящих трещин в сторону их увеличения будут протекать при выемке третьего и последующих пластов свиты на участках полного или частичного совпадения границ выемки.

Изложенные геомеханические процессы образования над выработанным пространством пластов техногенных зон водопроводящих трещин являются основой прогнозных расчетов высоты зоны водопроводящих трещин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авершин С.Г. Горные работы под сооружениями и водоемами. М.: Углехиздат, 1954. 324 с.
2. Безопасная выемка угля под водными объектами / Б.Я.Гвирцман, Н.Н.Кацнельсон, Е.В.Бошенятов и др. М.: Недра, 1977. 175 с.
3. Гусев В.Н. Геомеханика техногенных водопроводящих трещин / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1999. 156 с.
4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / ВНИМИ. СПб, 1998. 291 с.

## REFERENCES

1. Avershin S.G. Mining of work under constructions and reservoirs. Moscow: Ugletehizdat, 1954. 324 p.
2. Safe dredging of coal under water objects / B.I.Gvirtsman, N.N.Katsnelson, E.V.Boshenjatov, etc. Moscow: Nedra, 1977. 175 p.
3. Gusev V.N. Geomechanics of technogenic water spending cracks / Saint Petersburg mining institute. Saint Petersburg, 1999. 156 p.
4. Rules of protection of constructions and natural objects from harmful influence of underground mountain workings out on coal deposits / VNIMI. Saint Petersburg, 1998. 291 p.