

УДК 622.834:622.26

**И.В. Антипов, Р.В. Дегтярь, А.С.Гребёнкина**

**ДЕФОРМАЦИИ КРАЕВОЙ ЧАСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА  
В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ**

Розглянуто механізм деформацій вугільного шару в зоні впливу очисного вибою. Наведено аналітичне рішення визначення розмірів зони зруйнованого вугілля в крайовій частині шару.

**DEFORMATIONS OF COALFACE IN BREAKAGE FACE**

Mechanism of coal layer deformations in the influence zone of breakage face is considered. Analytical decision of area size determination of blasted coal inlayer regional part is giving.

Придание горным породам определенных свойств сплошности обуславливает возможность использования в решениях задач положений механики сплошной среды, а в некоторых случаях, приводит к необходимости применения методов дискретной среды. Не исключается также комбинированное проявление факторов и комбинированное принятие различных гипотез.

Выбор метода теоретического исследования определяется особенностью среды, ее напряженно-деформированным состоянием, механическими воздействиями, поставленной задачей и ожидаемыми результатами.

Цель теоретических исследований заключается в логико-математическом определении и выражении в математической форме объективных закономерностей механических процессов, происходящих в породных массивах на сопряжении лав с подготовительными выработками.

Теоретические исследования включают в себя следующие этапы: определение комплексов исходных величин и исходных данных; разработку расчетной схемы с учетом начальных и граничных условий; разработку расчетной методики; получение решения; проверку и уточнение решения; определение области рационального применения решения.

Теоретические исследования в работе направлены на решение частных прикладных задач:

1. Определение условий деформирования и разрушения горных пород массива и горных выработок при различных комплексах воздействий на массивы с учетом горно-геологических условий, принятой системы разработки, способов поддержания сопряжений и технологии ведения работ на концевых участках.

2. Установление закономерностей взаимодействия элементов породных массивов между собой и элементами горных выработок в зависимости от горно-геологических условий и видов воздействий на массивы.

3. Изучение влияния горных выработок и комплексов горных работ сопряжений на окружающие породные массивы различных структур и свойств, находящихся в различных исходных состояниях и подвергающихся разнообразным комплексам воздействий.

Для теоретического решения задачи используются аналитические, численные, инженерные методы.

В аналитическом методе искомые величины представляются в явном виде и могут быть вычислены с любой степенью точности.

В зависимости от использованного математического аппарата в инженерных методах различают экспериментально-теоретические и теоретико-экспериментальные.

В основе первых лежит эмпирическое обобщение большого числа экспериментальных данных с использованием одной из гипотез сопротивления материалов (плит, балок, свода и др.).

В основе вторых используется теоретическое решение, позволяющее описать наиболее существенные моменты рассматриваемого процесса. Погрешности расчетной схемы корректируются введением в исходные механические характеристики и напряженное состояние массива горных пород эмпирических поправочных коэффициентов и полуэмпирических функций.

Для каждой группы задач существует оптимальный метод решения. Выбрать его можно лишь характером работы объекта исследования и взаимодействия отдельных его элементов в реальных условиях.

Методы теории упругости эффективно применяются в задачах, когда материал сплошного "квазисплошного" массива работает при напряжениях, не достигающих предела упругости.

Линейная теория упругости успешно применяется при решении вязкоупругих задач, в которых требуется учитывать деформации ползучести горных пород или релаксацию напряжений в них. Методы линейной теории упругости (или методы упругих решений) использованы для приближенной оценки размеров зон неупругих деформаций, возникающих вокруг выработок. Для хрупких пород, не сопротивляющихся действию растягивающих напряжений, погрешность такой оценки мала. При этом граница области пород, разрушаемых от действия растягивающих напряжений, определяется изолинией растягивающих напряжений, равных пределу прочности горных пород на растяжение, а от действия сжимающих напряжений - изолинией, соответствующей предельному условию.

При решении неупругих задач аналитическими и численными методами используются те же уравнения, что и при решении упругих задач. Изменяются лишь физические уравнения, в качестве которых используются различные условия текучести и пластичности.

Введение допущений об активной деформации (нагружения без разгрузки) и о простом нагружении (все внешние силы возрастают пропорционально некоторому параметру) позволяет применять для решения неупругих задач методы упругих решений. При этом используются единые физические уравнения для упругой, нелинейно-упругой и упруго-пластической среды.

Для многих задач допущения об активной деформации и простом нагружении являются оправданными и подтверждаются экспериментами. Задачи предельного равновесия также относятся к классу неупругих, но их

решение существенно упрощается, так как задача решается без учета деформаций. В этом случае задача становится статически определимой и сводится к совместному решению уравнений равновесия и условия предельного состояния при заданных граничных и начальных условиях.

В последние годы получили интенсивное развитие методы, учитывающие предельное деформирование горных пород. При решении упруго-пластичных задач с учетом предельного деформирования они становятся статически не определенными, что позволяет отказаться от допущений, традиционно вводимых в статически определимые задачи.

Современные аналитические и численные методы не позволяют в полном объеме решить поставленную задачу. Поэтому теоретико-экспериментальные методы разрабатываются для решения практических вопросов проектирования при ведении очистных работ.

В связи с этим, необходимо разработать математическую модель напряженно-деформированного состояния горных пород для аналитического исследования состояний пород на сопряжениях добычных участков для любых горно-геологических условий залегания и физико-механических свойств массива.

Сложность решения поставленной задачи заключается в наличии многих взаимосвязанных факторов, имеющих место и протекающих в нарушенном очистными работами угольном массиве. Необходимо осуществить математическую интерпретацию геомеханических процессов с учетом всех факторов горно-геологического и горнотехнического характера.

При ведении очистных работ осуществляется подработка больших площадей и объемов горного массива. Опорное давление, возникающее в краевой части угольного пласта, является результатом упруго-пластических свойств угля и пород. Происходит зависание пород над выработанным пространством, их частичное обрушение и прогиб. При этом краевая часть угольного пласта деформируется упруго и пластически. Это сопровождается

концентрацией напряжений с максимумом на некотором удалении от кромки пласта.

При сдвигении пород горного массива в краевой части угольного пласта формируются три зоны напряженно-деформированного состояния: зона разрушенного угля, зона повышенной концентрации напряжений и зона геостатических напряжений в массиве вне области влияния очистных работ [1,2].

В зоне повышенной концентрации напряжений создаются условия, определяющие поведение пород и их устойчивость на концевых участках лав и сопряжениях с подготовительными выработками.

В результате сдвижения пород кровли происходят отслаивание и зависание консоли кровли на концевых участках лав и сопряжениях, опускание пород по плоскостям трещин, образовавшихся в результате выемки угля. По этим трещинам происходит опускание кровли отдельными призмами, которые могут удерживаться от обрушения силами трения на контактах их боковых граней [3-5].

В необрушенных породах кровли, угольном пласте и его почве под влиянием оседания пород происходят изменения зон напряженного состояния, размеры которых зависят от строения и свойств вмещающих пород, угольного пласта и горно-технических факторов.

В угленосной толще пород прослеживается граница, разделяющая зоны упругих и неупругих деформаций [6-8]. Так, в зоне упругих деформаций свойства пород угленосной толщи сохраняются в исходном состоянии. Зона неупругих деформаций пород разбита системой взаимно пересекающихся трещин скольжения, вдоль которых происходит взаимное перемещение породных блоков. Вес слоев пород, зависших над концевыми участками лав и сопряжениями с подготовительными выработками в зоне упругих деформаций, передается на краевую часть угольного пласта и обуславливает повышенные концентрации напряжений вдоль оси очистного забоя. В зоне

повышенной концентрации напряжений краевая часть пласта угля переходит постепенно в пластическое состояние и зону разрушенного угля.

Уменьшение в пласте зоны пластических деформаций с увеличением глубины ведения работ ведет к тому, что нагрузка на него со стороны выработанного пространства в плоскости пласта передается не только вкрест линии очистного забоя, но и вдоль, в предельно-напряженной зоне, находящейся в массиве, которую будем называть линией опоры.

На больших глубинах линия опоры совпадает с линией очистного забоя. Следовательно, пластическими деформациями в пласте, в данном случае, можно пренебречь. Возрастание плотности угля в пласте сопровождается уменьшением зоны проявления максимальных концентраций напряжений в краевой части пласта.

Увеличивается прочность пород угольной толщи также с увеличением степени метаморфизма углей. Характер изменения прочности пород толщи в зависимости от степени метаморфизма угленосных отложений представлен на рис. 1.

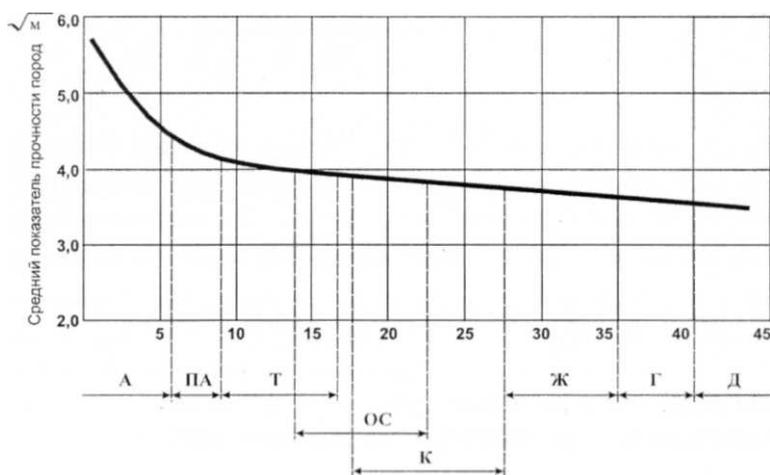


Рис. 1 - График изменения среднего показателя прочности пород от степени метаморфизма угля

Величина повышенной концентрации напряжений определяется размерами зависшей над выработанным пространством консоли. Вес консоли передается на краевую часть угля вдоль оси очистного забоя и сопряжения с подготовительной выработкой.

Длины консоли, зависшей над концевыми участками лав и сопряжениями с подготовительными выработками, определяется по формуле:

$$l = 0,5 f_{\text{нб}} \sqrt{H}, \quad (1)$$

Показатель прочности  $i$ -го слоя породы определяется из выражения:

$$f_i = \sqrt{\frac{\sigma_{pi}}{\gamma_i}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{pi}$  - предел прочности  $i$ -го слоя породы на растяжение, Па;

$\gamma_i$  - плотность  $i$ -го слоя породы, кг/м<sup>3</sup>.

Величина напряжений, создаваемых зависшей консолью, определяется по формуле:

$$\mathcal{H}q = \gamma \left\{ 1 + 1,4 \frac{l^2}{H^2} \left[ \left( 1,58 \frac{H}{l} + 1 \right) \cos 1,745 \frac{x}{H} - \sin 1,745 \frac{x}{H} \right] e^{-1,745 \frac{x}{H}} \right\} \quad (3)$$

Наибольшие напряжения над пластом в точке  $x=0$ :

$$q = \mathcal{H} \left( 1 + 2,22 \frac{l}{H} + 1,40 \frac{l^2}{H^2} \right). \quad (4)$$

Таким образом, угольный пласт при сдвигении толщи пород горного массива вдоль оси очистного забоя в зонах напряженно-деформированного состояния деформируется упруго, затем пластически и хрупко. Каждое из этих свойств в зависимости от внешних условий проявляется на различных стадиях

нагрузки. При решении технических задач для анализа процесса деформирования и разрушения краевой части угольного пласта необходимо рассматривать все виды деформации. Изменения механических свойств характеризуют систему, в которую превращается уголь, переходя из сплошного в дискретное состояние. Именно с этим явлением связаны различного рода масштабные эффекты.

Условие, при котором происходит разрушение угля в краевой части пласта, описывается выражением:

$$K_{p.y.} = K_f \frac{K_{\sigma 0} K_{\Delta P} K_E K_p}{K_{\varepsilon Vcc} K_{\varepsilon l} K_n}, \quad (5)$$

где  $K_f$  - коэффициент крепости пород по М. М.Протоdjяконову;  $K_{\sigma}$  - коэффициент, учитывающий увеличение внутреннего напряженного состояния материала;  $K_{\Delta P}$  - коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений ;  $K_E$  – коэффициент, учитывающий изменение модуля упругости;  $K_p$  - коэффициент, зависящий от изменения плотности угля;  $K_{\varepsilon V}$ - коэффициент, учитывающий степень относительной объемной деформации сжатия угля;  $K_{\varepsilon l}$  - коэффициент, учитывающий степень изменения относительной линейной деформации угля;  $K_n$  - коэффициент, зависящий от характера заложения опор и наличия контакта между их стенками.

Физический смысл коэффициента  $K_{p.y.}$  - проявление максимальных концентраций напряжений от единичной нагрузки в полосе шириной 1м, ориентированной параллельно линии очистного забоя.

Для определения условия разрушения краевой части угольного пласта по формуле (5) необходимы значения соответствующих параметров рабочего и проектируемого горизонтов. Соотношения этих величин выражаются соответствующими коэффициентами в формуле (5). После подстановки значений определяется условие, при котором произойдет или не произойдет

разрушение краевой части угольного массива. Если  $K < 1$  - краевая часть угольного пласта разрушается; при  $K > 1$  - разрушение не происходит.

Результаты расчетов подтверждаются данными натуральных наблюдений в шахтах, что позволяет использовать разработанный метод определения размеров зон разрушенного угля на практике для обоснования силовых и геометрических параметров механизированных крепей, а также для расчета параметров паспортов крепления и управления горным давлением в очистных забоях.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Антипов И.В., Кравченко В.Е., Щербинин Д.В. Шахтные исследования конвергенции вмещающих пород // Уголь Украины.- 2000.- N 10.- С. 24-27

2. Антипов И.В., Щербинин Д.В. Определение силовых и геометрических параметров механизированной крепи // Физико-технические проблемы горного производства.- Донецк: Китис, 1999.- С. 97-101