

О ВЛИЯНИИ ВЛАЖНОСТИ НА РАССЛАИВАЕМОСТЬ ПОРОД МЕЖДУПЛАСТЯ

На основании использования условия специального предельного состояния [2] были проведены исследования о влиянии влажности на расслаиваемость слоистых пород междупластья для случая надработанного, а затем подработанного междупластья.

Вопросу о влиянии влажности на расслаиваемость пород междупластья исследователями уделялось недостаточно внимания. Как известно, расслаиваемость слоистых пород кровли очистных выработок существенно уменьшает их изгибную жесткость, что в конечном итоге приводит к значительному увеличению нормальных к напластованию перемещений слоев междупластья и формированию предельных зон. В связи с этим прогноз расслаиваемости пород междупластья с учетом влажности является важным, так как используется при выборе оптимальных параметров паспортов крепления выработок, обеспечивающих необходимый эксплуатационный режим очистных выработок, а также при решении других важных геомеханических задач.

Существенным затруднением при исследовании влияния влажности на расслаиваемости слоистых пород междупластий является отсутствие количественных прочностных характеристик контактных поверхностей слоев. Поэтому была предпринята попытка, исходя из основных закономерностей изменения механических характеристик однородных глинистых образцов [1] в зависимости от влажности, ввести поправки на фактор влажности в угол трения по контакту и коэффициент сцепления ослабленного контакта. Уточненные основные механические характеристики ослабленных контактов затем следует использовать в условиях зарождения и прорастания трещин расслоения [2].

Задача определения напряженного состояния для многослойной толщи с учетом разрушения ослабленных контактов с позиций теории упругости становится неклассической, так как не известны длины расслоившихся участков и точки, между которыми происходит отслоение смежных слоев. На участках частично или полностью разрушенных межслоевых контактов не известны также законы изменения нормальных и касательных напряжений к напластованию пород. Однако в настоящее время даже в плоских задачах теории упругости для двухслойной толщи с учетом вектора разрыва смещений на границах слоев строгих решений не имеется.

Расчет расслоения пород междупластья выполняется при следующих предположениях: породы междупластья приняты в виде слоистой среды с разными упругими характеристиками; породы в пределах слоев однородны, изотропны и при деформировании удовлетворительно согласуются с обобщенным законом Гука; прочность межслоевых контактов меньше прочности смежных слоев.

В результате расчета требуется исследовать влияние влажности на расслаиваемость пород междупластья.

В условия зарождения и прорастания трещин расслоения [2] входят основные механические характеристики: коэффициент сцепления C и угол трения по ослабленному контакту ρ .

Средневзвешенные значения коэффициента сцепления и угла трения по контакту представим в следующем виде:

$$C = K_c C_0(W), \quad \rho = K_\rho \rho_0(W), \quad (1)$$

где $C_0(W)$, $\rho_0(W)$ – коэффициент сцепления и угол трения по контакту как функции влажности; K_c, K_ρ – коэффициенты структурного ослабления, корректирующие механические характеристики C и ρ ослабленного контакта.

Коэффициенты K_c и K_p зависят от влажности, времени, температуры и многих других факторов и представляют предмет отдельного исследования.

Многие ослабленные прослойки имеют толщину от нескольких долей миллиметра до нескольких сантиметров, некоторые из них содержат глины и к тому же в значительном количестве, что при увеличении влажности может существенно влиять на прочность межслоевых прослоек. В работе [1] показано, что прочность образцов некоторых глин при увеличении влажности уменьшается на порядок. Ссылаясь на этот факт, можно утверждать, что механические характеристики $C_0(W)$, $\rho_0(W)$ для рассматриваемого случая при изменении влажности будут изменяться по законам, близким к законам, полученным при испытании однородных глинистых образцов.

Задача расчета расслоения пород междупластья включает два этапа. На первом этапе определяется зарождение трещин расслоения в точке или на отдельном участке ослабленного контакта, а на втором – прорастание трещин вдоль ослабленного контакта, находящегося над выработанным пространством и в пределах зоны возможного зарождения трещин расслоения.

Условие специального предельного состояния и условие расслоения межслоевого контакта берем в том же виде, что и в предыдущей статье*.

Проверка прорастания трещин расслоения выполняется по формуле [2]

$$S_{y_i} \geq C_i^* + T_{y_i} \operatorname{tg} \rho_i, \quad (2)$$

где $S_{y_i} = \int_{l_{0,i}}^1 \tau_y(x, y_i) dx$; $T_{y_i} = \int_{l_{0,i}}^1 \sigma_y(x, y_i) dx$; $C_i^* = (1 - l_{o,i}) / \gamma H l$; S_{y_i} , T_{y_i} , $\operatorname{tg} \rho_i$, C_i^* – усилия в единицах $\gamma H l$ соответственно касательные, трения и сцепления; $l_{o,i}$ – расстояние (в единицах l) от начала системы координат XOY до расчетной точки начала расслоения на ослабленном контакте.

Нарушение сплошности ослабленных контактов во многих случаях происходит в начальный период увеличения ширины камеры, когда связь между напряжениями и деформациями близка к линейной и может быть приближенно выражена обобщенным законом Гука, поэтому необходимые величины τ_{xy} , σ_y , входящие в условия (2) и (3), определим методами теории упругости [3].

Приведем расчет зарождения трещин расслоения трехслойного междупластья. Отработанная площадь верхнего угольного пласта значительно больше, чем нижнего пласта. Расчет выполним для следующих данных: глубина ведения очистных работ 700 м, мощность междупластья равна 100 м, ширина выработанного пространства равна 90 м, мощность отработанного пласта 1,2 м, а его кубиковая прочность в массиве $K^* = 9$ МПа, компоненты бокового распора $\lambda_x = \lambda_y = 0,7$. Междупластье состоит из трех слоев, мощности и упругие характеристики которых соответственно $h_1 = 15$ м, $h_2 = 60$ м и $h_3 = 25$ м; $E_1 = E_0$, $E_2 = 10 E_0$, $E_3 = 3 E_0$, $\nu_1 = \nu_2 = \nu_3 = 0,3$. Здесь E_i и ν_i – модули упругости и коэффициенты Пуассона i -го слоя. Для определения систем усилий, формирующихся на контактах слоев, требуются знания только отношения упругих характеристик, поэтому значение E_0 не приводится.

В литературных источниках отсутствуют данные об изменении коэффициента сцепления и угла трения по ослабленному контакту как функции влажности. Во многих случаях меж-

* См. статью Н.Ф. Донцула, Г.Н. Журова. «К вопросу о расслаиваемости разупрочненных тяжелых кровель угольных пластов» в настоящем сборнике.

слоевые прослойки имеют некоторую незначительную толщину, по составу их можно отнести к однородным глинистым прослойкам, поэтому можно считать, что основные механические характеристики таких прослоек как функции влажности будут близки соответствующим основным механическим характеристикам однородных глинистых образцов: углу внутреннего трения и коэффициенту сцепления. Для самых малых значений изменения угла внутреннего трения 3, 6, 9, 12 и 15°, которые отражают прочность некоторых глинистых образцов [1], приведем результаты вычислений $\Delta K_{\tau}(x, y)$ для каждого из имеющихся двух ослабленных контактов (рис. 1). Принятые на рис. 1 обозначения соответствуют: a1 и b1 при $\rho = 3^{\circ}$; a2 и b2 при $\rho = 6^{\circ}$; a3 и b3 при $\rho = 9^{\circ}$; a4 и b4 при $\rho = 12^{\circ}$; a5 и b5 при $\rho = 15^{\circ}$. Сравнивая между собой кривые $\Delta K_{\tau}(x, y)$ для указанных углов трения на каждом из ослабленных контактов, можно сделать вывод, что при ничтожно малом сцеплении область возможного зарождения трещин расслоения с уменьшением угла трения по контакту увеличивается.

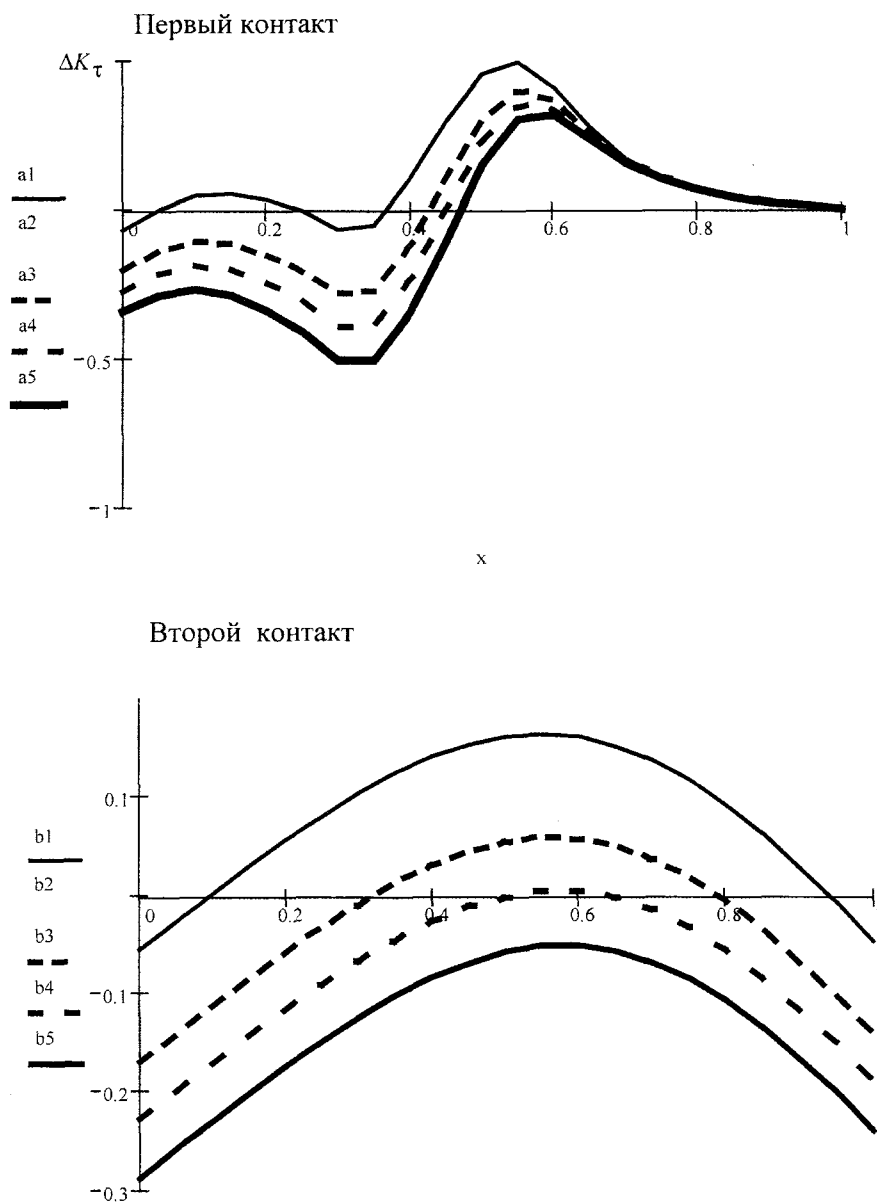


Рис. 1. Изменение $\Delta K_{\tau}(x, y)$ на контактах трехслойного междупластья

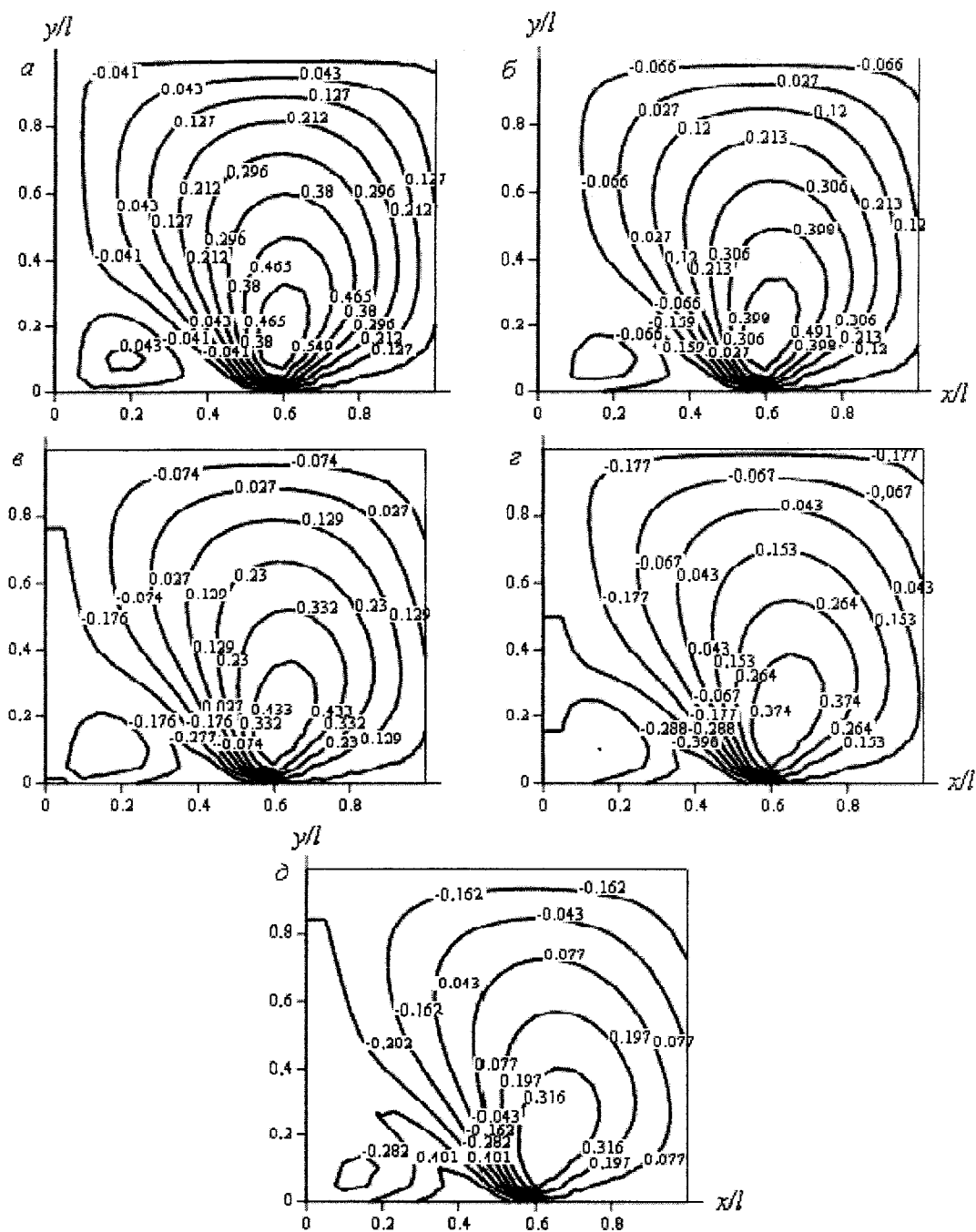


Рис.2. Изолинии $\Delta K_{\tau}(x, y)$ по прогнозу зон расслоений пород междупластья для угла трения по контакту ρ равного 3, 6, 9, 12 и 15°

На первом контакте при ничтожно малом сцеплении и вышеуказанном диапазоне изменения угла трения условие (2) выполняется, следовательно, трещина прорастет. Выполняя для второго контакта вычисления по зарождению трещин расслоения, убедимся, что только при угле трения $\rho = 15^\circ$ трещина расслоения даже не зародится из-за недостаточных касательных усилий, действующих вдоль ослабленного контакта.

Применительно к двухслойному междупластью были рассмотрены изолинии $\Delta K_{\tau}(x, y)$ для случая близких упругих характеристик слоев и других, необходимых для расчета вышеприведенных данных (рис.2).

Анализ результатов расчетов для углов трения по контакту, изменяющихся от 3 до 15°, а также для других значений отношения упругих характеристик свидетельствует, что расслоение возможно не только над очистной выработкой, но и над определенным участком угольного пласта. Процесс расслоения начинается при определенной ширине камеры и продолжается при дальнейшем увеличении ее пролета, поэтому разрушение контакта приводит к перераспределению нормальных и касательных напряжений, действующих на контактной поверхности. При достаточном содержании глины в ослабленных прослойках и при увлажнении пород междупластья механические характеристики ρ и C ослабленных прослойков уменьшаются, что существенно увеличивает высоту и ширину зоны расслоения. С увеличением модуля упругости нижнего слоя высота и ширина зоны расслоения уменьшаются. На нарушение сплошности ослабленного контакта увеличение модуля упругости нижнего слоя влияет значительно, чем уменьшение. Это объясняется меньшей податливостью нижнего слоя междупластья вдоль напластования.

Анализируя результаты дополнительных расчетов, можно выявить, что интенсивность напряжений, линейных относительных деформаций и углов сдвига имеет максимальное значение при наличии на верхней границе междупластья центрального целика и минимальное при равномерно распределенной нагрузке на верхней границе междупластья. При нагружении междупластья и наличии целика над краевой частью угольного пласта (случай ведения очистных работ в створах) все названные характеристики напряженно-деформированного состояния имеют промежуточное значение. Из механики сплошной среды известно, что указанные величины свидетельствуют об изменении формы элементарного объема, а этот фактор существенно влияет на разрушение. Следовательно, при отсутствии целиков на верхней границе междупластья и при прочих равных условиях образование предельных зон в породах междупластья меньше по сравнению с другими вышеуказанными схемами нагружения междупластья.

Таким образом, чтобы выполнить ориентировочные расчеты по расслаиваемости пород междупластий, необходимо располагать сведениями о геологическом строении пород междупластий, их упругих характеристиках и механических характеристиках ослабленных межслоевых контактов с учетом их влажности, глубине ведения очистных работ, а также размерах очистных камер. Данные сведения позволяют уточнить формирование систем усилий, действующих на ослабленных контактах слоев, что необходимо для прогноза стадийности деформирования и разрушения слоистых пород междупластий и при необходимости принятия соответствующих технических решений по управлению горным давлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов И.П.* Инженерно-геологические исследования в горном деле (для обоснования рационального использования и охраны недр). Л.: Недра, 1987.
2. *Кузнецов С.Т.* Методическое пособие по изучению слоистости и прогнозу расслаиваемости осадочных пород / С.Т.Кузнецов, И.Н.Воронин; ВНИМИ. Л., 1967.
3. *Тимошенко С.П.* Теория упругости / С.П.Тимошенко, Дж.Н.Гудьер. М. Наука, 1975.