

УДК 622.831.3+622.063

к.т.н. Пронский Д.В.,
к.т.н. Палейчук Н.Н.,
Рыжикова О.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

О ВЛИЯНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ КЛИВАЖА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИЗАБОЙНОГО МАССИВА

На основании результатов численных исследований напряженно-деформированного состояния призабойной части угольного массива доказана целесообразность привязки пространственной ориентации очистного забоя к направлению основной системы кливажных трещин. Установлена закономерность изменения максимальных значений горизонтальных перемещений и эквивалентных напряжений в зависимости от углов ориентировки основной системы кливажных трещин.

Ключевые слова: призабойный массив, кливаж, углы ориентировки трещин, напряженно-деформированное состояние, изополя, закономерность.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

На напряженно-деформированное состояние призабойного углепородного массива влияет большое количество горно-гидрогеологических и инженерно-технических факторов, среди которых следует выделить следующие: физико-механические свойства пород и угля, длина лавы, ширина захвата исполнительного органа выемочной машины, вынимаемая мощность пласта, угол падения пласта, наличие и параметры дизъюнктивных и пликативных геологических нарушений, ориентация и густота кливажа и др.

На стадии проектирования горных работ большинство вышеперечисленных факторов учитывается при выборе схемы подготовки и системы разработки участка угольного месторождения. Однако, в условиях современного состояния рынка энергоносителей, необходимо таким образом учитывать геологические факторы, чтобы облегчить процесс выемки и, по возможности, минимизировать материальные затраты и расход энергоресурсов. Этого можно достичь, ориентируя направление отработки лавы и, собственно, пространственную конфигурацию выемочных полей, под определенным углом

к направлению кливажных трещин. Установлено [1], что плоскость забоя целесообразно ориентировать под некоторым углом к направлению основной системы кливажных трещин для облегчения процесса отбойки и минимизации затрат энергии и износа резцов исполнительного органа выемочной машины. Для установления фактических значений углов оптимальной ориентации плоскости очистного забоя и направления основной системы кливажа необходимо проведение соответствующих исследований. Наглядное представление о целесообразности такого решения и его эффективности может дать численное моделирование с использованием метода конечных элементов.

Постановка задачи. Задачей данной работы является исследование влияния пространственной ориентации основной системы кливажных трещин на напряженно-деформированное состояние угольного пласта в зоне работы выемочной машины.

Основной материал исследования. Проведя анализ программных продуктов для решения такого класса задач, мы пришли к выводу, что моделирование может быть осуществлено при помощи программного комплекса Лира.

Для моделирования использовался программный комплекс (далее – ПК) «Лира» версии 9.4 с 32-х разрядной архитектурой, разработанный в ООО «Лира-софт». Одним из основных преимуществ данного ПК является полная интеграция с программными продуктами AutoCAD и Excel, что существенно упрощает создание сетки КЭ и анализ результатов. К недостаткам следует отнести тот факт, что выполнения расчетов возможно только в упругой постановке.

Конечно-элементная модель является плоской, что снижает точность полученных результатов, однако позволяет определить основные тенденции изменения НДС и влияния на характер НДС ориентации системы кливажных трещин, что для нашей задачи является достаточным.

Схема объекта процесса моделирования представлена на рисунке 1.

Как следует из приведенной схемы, объектом моделирования является участок угольного массива, где непосредственно происходит процесс выемки угля при помощи выемочной машины. Для определения влияния ориентации кливажа на эффективность разрушения угля исполнительным органом выемочной машины рассмотрим плоскость его работы, сопоставив перемещения участка массива при различных углах ориентации основной системы кливажных трещин.

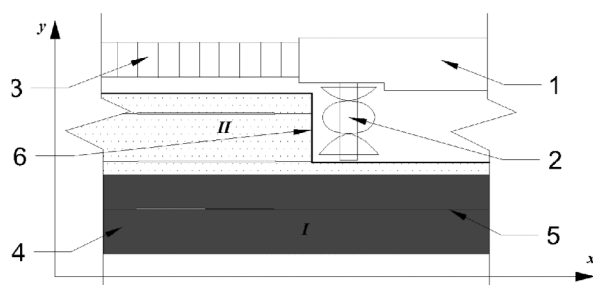


Рисунок 1 – Схематическое изображение объекта процесса моделирования: 1 – очистной комбайн, 2 – исполнительный орган (шнек) очистного комбайна, 3 – скребковый конвейер, 4 – угольный массив, 5 – кливажная трещина, 6 – плоскость работы исполнительного органа, I и II – области задания связей

Сами трещины моделировались как геометрические тела (пустоты), вокруг которых построена сетка конечных элементов. Так, как создание сетки КЭ вокруг большого количества отверстий – весьма трудоемкая задача, для определения эффективности той или иной пространственной ориентации забоя относительно основной системы трещин кливажа было принято решение ограничиться тремя моделями трещин. Поскольку процесс резания в ПК Лира смоделировать невозможно, к плоскости работы исполнительного органа была приложена статическая нагрузка, имитирующая работу струга либо тяговое усилие комбайна, численно равная 250 кН – тяговому усилию комбайна 1ГШ68.

Физико-механические свойства угля принимались следующими [2]: плотность $\rho=1,80 \text{ т/м}^3$, предел прочности на сжатие $\sigma_c=25,3 \text{ МПа}$, предел прочности на растяжение $\sigma_p=3,6 \text{ МПа}$, модуль деформации $E=5200 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\nu=0,30$.

При моделировании использовались трех- и четырехугольные универсальные конечные элементы плоской задачи с толщиной 100 см.

Граничные условия в области I – связи по всем направлениям, в области II – разрешены перемещения по осям x , y и повороты вокруг оси z . Кроме того, на всей левой, правой и нижней границах были запрещены перемещения по всем направлениям.

Варианты расчетной схемы приведены на рисунке 2.

Первый вариант расчетной схемы (рис. 2, а) предусматривает ориентацию кливажных трещин перпендикулярно плоскости работы исполнительного органа или под углом 0° к горизонтали. Во втором варианте (рис. 2, б) трещины ориентированы под углом к горизонтали 18° , что обусловлено результатами натурных исследований в части оптимизации направления очистной выемки относительно направления кливажа.

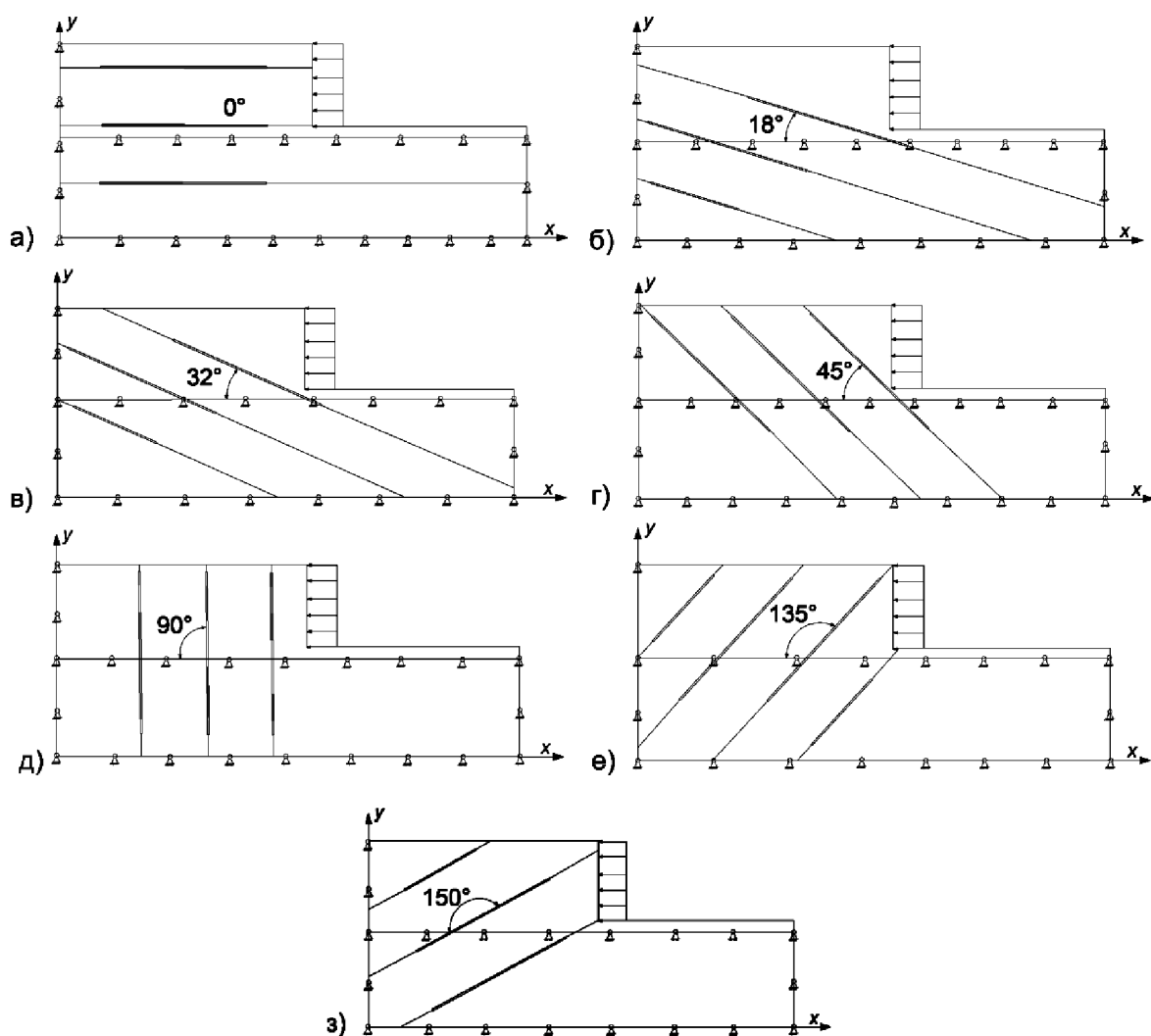


Рисунок 2 – Расчетная схема при различных вариантах ориентировки основной системы кливажных трещин относительно горизонтали:
а – 0° , б – 18° , в – 32° , г – 45° , д – 90° , е – 135° , з – 150°

Третий и четвертый варианты расчетной схемы (рис. 2, в, г) предполагают ориентацию основной системы кливажных трещин под углами 32° и 45° соответственно. В пятом, шестом и седьмом вариантах расчетной схемы (рис. 2, д, е, з) кливажные трещины направлены соответственно под углами 90° , 135° и 150° . Такое разнообразие вариантов расчетной схемы позволит объективно и в широком диапазоне изменений углов оценить возможность оптимизации ориентировки очистной выемки относительно направления кливажных трещин угольного пласта.

После выбора типа КЭ, задания физико-механических свойств материалов модели и наложения связей выполнялся расчет НДС.

Для последующего анализа, сравнения и интерпретации результатов численного моделирования были выбраны перемещения по оси x и эквивалентные напряжения σ_E , рассчитанные при помощи теории прочности наибольших главных деформаций [3].

Изополя перемещений при различной ориентации кливажных трещин приведены на рисунке 3.

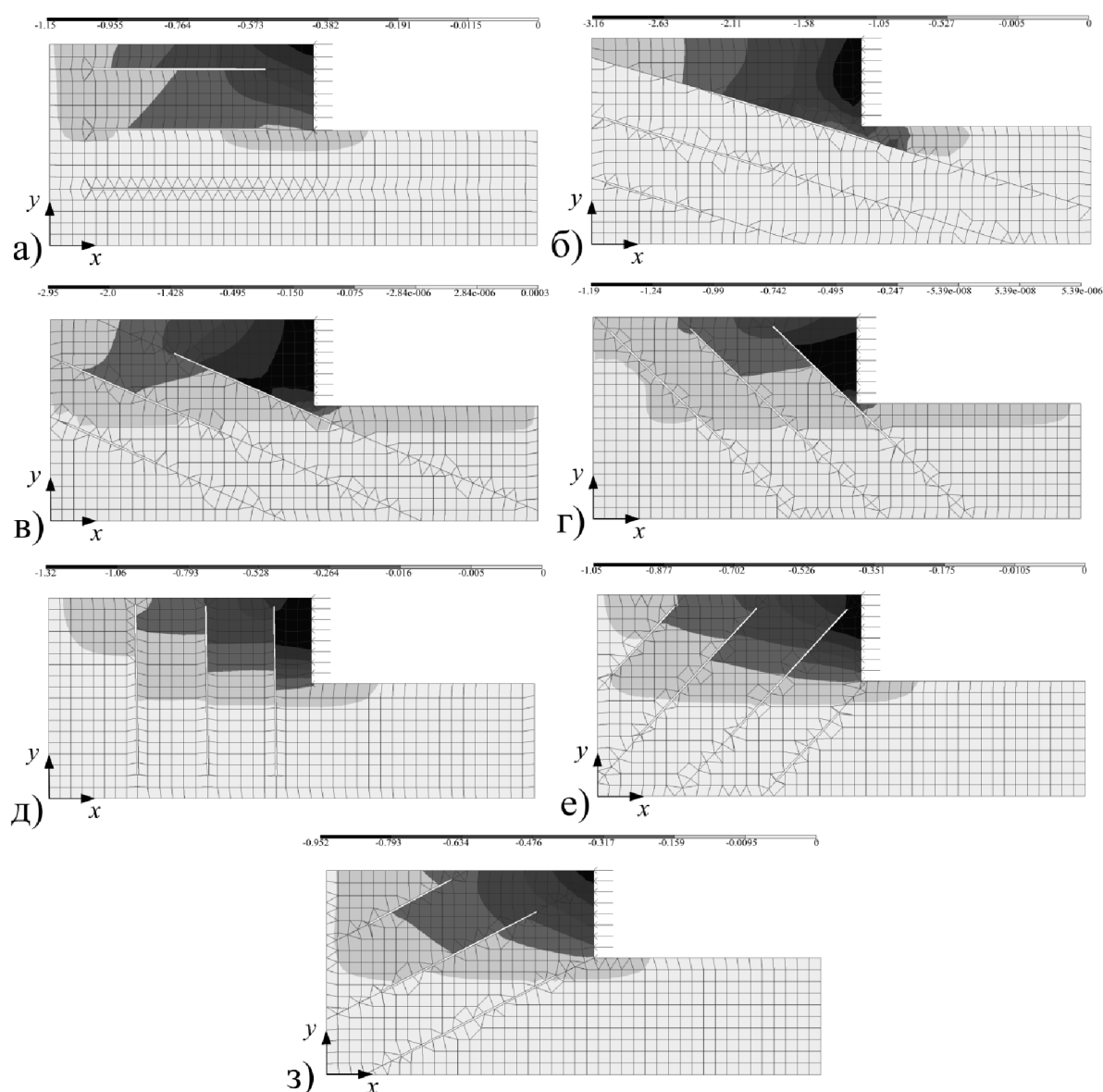


Рисунок 3 – Изополя горизонтальных перемещений призабойного массива при различных вариантах ориентировки основной системы кливажных трещин:

а – 0° , б – 18° , в – 32° , г – 45° , д – 90° , е – 135° , з – 150°

Анализируя изополя перемещений при ориентировке кливажных трещин под углом 0° к горизонтали (рис. 3, а) можно сделать следующие выводы: максимальные значения перемещений по оси x наблюдаются в краевой части массива у основания исполнительного органа, что обуславливает неравномерность реакции угольного массива на тяговое усилие и вызывает неравномерный износ резцов шнека очистного комбайна. Кроме того, при такой конфигурации практически отсутствуют условия для об-

легчения процесса резания ориентировкой кливажа. Ориентировка основной системы кливажа под углом 18° к горизонтали (рис. 3, б) способствует улучшению условий резания за счет образования плоскости скольжения по простиранию трещины. Кроме того, значения максимальных смещений для такой конфигурации практически в три раза выше, чем при схеме с углом 0° .

На схеме с углом ориентировки трещин 32° к горизонтали (рис. 3, в) максимальные перемещения наблюдаются практически по

всей плоскости непосредственной работы исполнительного органа выемочной машины с шириной захвата r на глубину, в среднем, до $0,5r$, что также способствует облегчению процесса выемки и снижению ее удельной энергоемкости. При таком варианте наблюдается формирование плоскости скольжения по кливажной трещине.

При ориентировке кливажных трещин под углом 45° к горизонтали (рис. 3, г) максимальные значения перемещений по оси x наблюдаются в центральной части плоскости непосредственной работы исполнительного органа выемочной машины с шириной захвата r на глубину, в среднем, до $0,46r$, что, в свою очередь, также способствует снижению удельной энергоемкости процесса выемки. Длина плоскости скольжения кливажной трещины при таком варианте на 25-30% меньше, чем в предыдущей схеме.

Максимум горизонтальные перемещения в схеме при ориентировке кливажных трещин под углом 90° (рис. 3, д) достигают у основания исполнительного органа выемочной машины на величину равную расстоянию до первой трещины. Т.е., при такой ориентировке плоскости очистного забоя основную роль в снижении удельной энергоемкости процесса выемки играет расстояние между трещинами. С уменьшением данного параметра уменьшается удельная энергоемкость.

Рассматривая ориентировку кливажных трещин под углом 135° к горизонтали (рис. 3, е) можно отметить следующее: максимальные значения перемещений наблюдаются у основания исполнительного органа выемочной машины и ограничиваются кливажной трещиной. В таком варианте осуществлять выемку наиболее сложно, т.к. для снятия практически половины стружки потребуется увеличение тягового усилия, в то время как условия для снятия другой половины будут более благоприятны. Кроме того образуется угольный клин, параметры которого также будут влиять на эффективность процесса выемки.

При ориентировке кливажных трещин под углом 150° к горизонтали (рис. 3, з) максимальные значения x – перемещений наблюдаются в краевой части плоскости непосредственной работы исполнительного органа выемочной машины у его основания, что не способствует повышению эффективности процесса выемки и его облегчению. Как и в предыдущем варианте, образуется угольный клин, который препятствует передаче тягового усилия вглубь массива. Из всех рассмотренных вариантов в данном случае условия выемки наименее благоприятны, т.к. значения перемещений меньше, чем в остальных расчетных схемах, а угольный клин имеет более тупой угол наклона к горизонтали по сравнению с предыдущей схемой.

На рисунке 4 представлен характер влияния угла отклонения основной системы кливажных трещин от горизонтали на максимальные значения горизонтальных перемещений и эквивалентных напряжений. Данные графики были получены в программе Excel.

Как следует из рисунка 4, максимальные значения горизонтальных перемещений и эквивалентных напряжений (842 кПа) наблюдаются в схеме с ориентировкой трещин кливажа под углом 18° к горизонтали, что обусловлено наличием плоскости скольжения, которая способствует процессу отделения угля от массива не только при помощи резцов, но и осевым усилием, создаваемым системой перемещения выемочной машины. Минимальные значения перемещений U_x соответствуют углам $\phi = 0^\circ$ и 150° . При $\phi = 0^\circ$ рабочая плоскость исполнительного органа выемочной машины находится под прямым углом к кливажным трещинам, что, исходя из производственной практики, не способствует облегчению процесса выемки, т.к. разрушение угля происходит лишь на глубину внедрения резцов исполнительного органа выемочной машины. При $\phi = 135^\circ$ и 150° в призабойной зоне формируется угольный клин, который также не способствует облегчению процесса отделения угля.

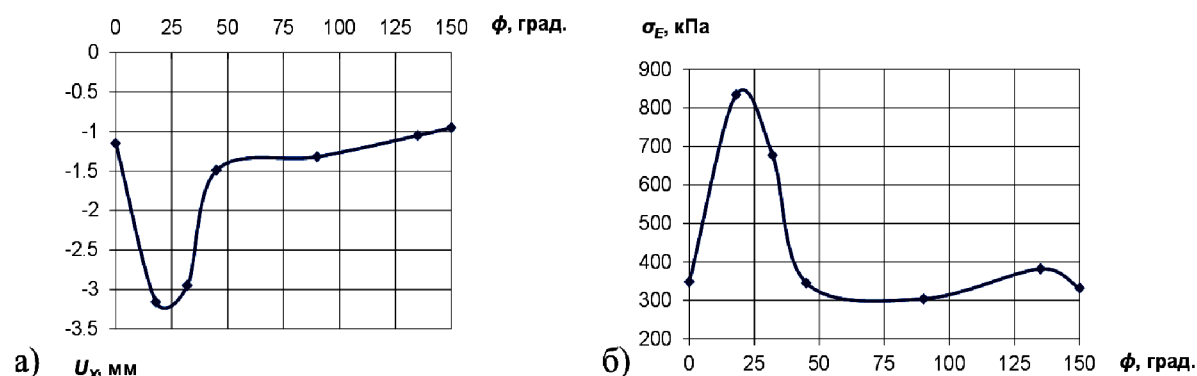


Рисунок 4 – Влияние угла ϕ отклонения основной системы кливажных трещин от горизонтали на напряженно-деформированное состояние угольного пласта:

а – горизонтальные перемещения U_x , б – эквивалентные напряжения σ_E

Как видно из представленных результатов, ориентировка основной системы кливажных трещин оказывает существенное и нелинейное влияние на НДС угольного массива, что может быть использовано при проектировании ориентировки выемочных полей антрацитовых шахт Донбасса.

Выводы и направление дальнейших исследований.

Анализ результатов численных исследований показал следующее:

1. Максимальные значения горизонтальных перемещений наблюдаются в схеме с ориентировкой трещин кливажа под углом 18° к горизонтали, что обусловлено наличием плоскости скольжения, которая способствует процессу отделения угля от массива путем воспри-

ятия нагрузки от тягового усилия выемочной машины.

2. Минимальные значения горизонтальные перемещения имеют в схемах с ориентировкой трещин кливажа под углами 0° и 150° к горизонтали, что обусловлено, в первом случае – высоким сопротивлением тяговому усилию, а во втором – образованием «клина», создающего неблагоприятные условия для отделения угля от массива.

3. В результате проведения численного эксперимента с использованием МКЭ установлено, что горизонтальные перемещения и эквивалентные напряжения нелинейно зависят от угла ориентировки основной системы кливажных трещин относительно горизонтали и могут быть описаны степенной функцией.

Библиографический список

1. Факторы, влияющие на выбор системы разработки и ее параметры [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://computerchoppers.ru/tehnologiya-gornogo-proizvodstva/2120-factory-vliyayushchie-na-vybor-sistemy-razrabotki-i-ee-parametry-chast-2.html>.
2. Должиков П. Н. Устойчивость выработок в интенсивно трещиноватых породах глубоких шахт : монография / П. Н. Должиков, А. Э. Кипко, Н. Н. Палейчук. — Донецк : Світ книги, 2012. — 220 с.
3. Айзикович С. М. Контактные задачи теории упругости для неоднородных сред / С. М. Айзикович, В. М. Александров, А. В. Белокоп и др. — М.: Физматлит, 2006. — 240 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Борзых А.Ф.,
д.т.н., проф. ЛГУ им. В. Даля Рябичевым В.Д.

Статья поступила в редакцию 17.11.15.

к.т.н. Пронський Д.В., к.т.н. Палейчук М.М., Рижикова О.О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)
ПРО ВПЛИВ ПРОСТОРОВОЇ ОРІЄНТАЦІЇ КЛИВАЖУ НА НАПРУЖЕНО-
ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПРИЗАБІЙНОГО МАСИВУ

На підставі результатів чисельних досліджень напружено-деформованого стану призабойної частини вугільного масиву доведена доцільність прив'язки просторової орієнтації очисного забою до напрямку основної системи кливажних тріщин. Встановлена закономірність зміни максимальних значень горизонтальних переміщень і еквівалентних напружень залежно від кутів орієнтування основної системи кливажних тріщин.

Ключові слова: призабійний масив, кливаж, кути орієнтування тріщин, напружено-деформований стан, ізополя, закономірність.

PhD in Engineering Pronskiy D.V., PhD in Engineering Paleichuk N.N., Ryzhykova O.A.
(DonSTU, Alchevsk, LPR)

INFLUENCE OF CLEAVAGE DIMENSIONAL ORIENTATION ON STRESS-STRAIN
MODE OF COAL FACE MASSIF

Efficiency connections of mining face dimensional orientation to the main cleavage system has been proved by numerous research results on deflected mode of coal face. It is determined that the changes' regularity of maximum value horizontal displacement and equivalent stresses are depending on angle orientation of the main cleavage system.

Key words: coal face, cleavage, angle of crack orientation, deflected mode, isofield, regularity.