
ГЕОМЕХАНІКА

УДК 622.272.4

Б.Н. Андреев, д-р техн. наук, проф., **С.С. Сергеев**, асп. (ГВУЗ «КНУ»)**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ НЕРАВНОКОМПОНЕНТНОГО
НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ ЗА ПЛОСКОСТЬЮ ЗАБОЯ
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ**

B.N. Andreev, S.S. Sergeev (Construction Geotechnologies Department, Kryvyi Rih National University Ukraine)**DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF COMPONENT
ZONES UNEQUAL STRESS STATE BEHIND THE PLANE OF
HORIZONTAL MINE WORKINGS SLAUGHTER**

Розглянуті особливості спорудження гірничих виробок на шахтах Криворізького басейну. Наведені результати комп'ютерного моделювання розподілу напружень природного поля для умов шахт Кривбасу. Встановлено складові елементи зони нерівнокомпонентного напруженого стану в приконтурному масиві гірничої виробки. Визначено довжина зони нерівнокомпонентного напруженого стану за площиною вибою горизонтальної гірничої виробки з урахуванням її індивідуальних параметрів.

Ключові слова: шахта; горизонтальна гірничка виробка; прохідницьке обладнання; напружено-деформований стан масиву; організація прохідницьких робіт.

Рассмотрены особенности сооружения горных выработок на шахтах Криворожского бассейна. Приведены результаты компьютерного моделирования распределения напряжений естественного поля для условий шахт Кривбасса. Установлены составляющие элементы зоны неравнокомпонентного напряжённого состояния в приконтурном массиве горной выработки. Определена длина зоны неравнокомпонентного напряжённого состояния за плоскостью забоя горизонтальной горной выработки с учётом ее индивидуальных параметров.

Ключевые слова: шахта; горизонтальная горная выработка; проходческое оборудование; напряжённо-деформированное состояние массива; организация проходческих работ.

The features of the construction of mine workings at the mines of Krivoy Rog basin are described in the article. The results of computer simulation of the natural distribution of stress field for the conditions of Kryvbas mines are presented. There were established the constituent elements of non-uniform stress state in the marginal array excavation. There was determined the length of non-uniform stress state of the bottom horizontal plane of excavation in view of its individual parameters.

Keywords: mine; horizontal mine workings; tunneling equipment; the stress-strain state of the massif; organization of drivage.

Введение. Среди основных направлений расширения минерально-сырьевой базы Криворожского железорудного бассейна большое значение имеет разработка богатых руд на глубоких горизонтах.

Потребность металлургических предприятий в железной руде с высоким содержанием полезного компонента вынуждает шахты Криворожского бассейна осваивать глубокие горизонты. Увеличение глубины ведения горных работ сопровождается ухудшением геологических и горнотехнических условий [1]. Это обуславливает необходимость решения задач по получению достоверных сведений о геомеханическом состоянии породного массива, позволяющих заблаговременно составить представление о характере и интенсивности возможных деформаций горных выработок, а также разработать и внедрить наиболее эффективные для больших глубин технологические решения при строительстве капитальных и подготовительных выработок.

Целью работы является исследовать особенности формирования напряжённо-деформированного состояния массива за плоскостью забоя при сооружении горных выработок на шахтах Криворожского бассейна.

Результаты исследования. Многие геомеханические задачи, с которыми приходится в настоящее время сталкиваться исследователям и инженерам, не поддаются аналитическому решению либо требуют значительных затрат времени на экспериментальную реализацию. Прогресс в разработке численных методов и компьютерного моделирования позволил существенно расширить круг задач, доступных анализу [2].

В последние годы значительное развитие технологий программирования обусловило широкое применение компьютерной техники для анализа и моделирования напряженно-деформированного состояний массива горных пород.

В программных комплексах для получения оценки разрушения пород используются теории прочности: наибольших нормальных напряжений, максимальных относительных удлинений, наибольших касательных напряжений, полной потенциальной энергии, О. Мора, энергетической теории формоизменения, П.П. Баландина, И.Н. Миролюбова, предельных сопротивлений сдвигу и отрыву, Я.Б. Фридмана и др. При анализе каждой теории за эквивалентное напряжение применялся предел прочности породы растяжению и сжатию [3].

В ходе исследований рассматривался и анализировался ряд программ на основе методов конечных элементов (МКЭ), включающих в себя статический структурный анализ (Static Structural), позволяющий рассчитать перемещения, деформации, напряжения, внутренние усилия, возникающие в теле под действием статической нагрузки. Всё это необходимо для определения параметров зоны неравнокомпонентного напряжённого состояния и построения модели по всем критериям и нормам. Было решено использовать программный комплекс Ansys Workbench в котором учитываются трехмерные напряжения и нагрузки, образующиеся в нескольких направлениях [2]. Обычно эти много направленные напряжения суммируются для получения эквивалентного

напряжения, которые в Ansys основаны на теории прочности Мизеса-Хенки (Mises-Hencky), также известной как четвертая теория наибольшей удельной потенциальной энергии формоизменения. Которая гласит что материал в зависимости от типа напряженного состояния может вести себя как хрупко и так пластично. Вот как раз четвертая теория она и отражает нарушение прочности текучестью и срезом.

Также, критерий прочности Мизес-Хенки называют условием постоянства максимального касательного напряжения [4], поскольку ни в одной точке тела касательные напряжения не должны превосходить предельного значения σ_τ (σ_τ – предел текучести при растяжении), постоянного для данного материала в данных условиях его работы:

$$\sigma_i = ([(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]/2)^{1/2}. \quad (1)$$

Из этого выражения следует, что пластичный материал начинает повреждаться в местах, где напряжение по Мизесу становится равным предельному напряжению $\sigma_i = \sigma_\tau$, т.е. при пластическом течении интенсивность напряжений постоянна и предел текучести используется в качестве предельного напряжения.

Используя программный комплекс Ansys для выполнения расчета напряженно–деформированного состояния горного массива, а именно действий растягивающих напряжений за плоскостью забоя, получаем результаты в виде трех значений главных напряжений σ_0 , которые представляют собой корни кубического уравнения, определяемого компонентами вектора напряжений:

$$\begin{array}{ccc} \sigma_x - \sigma_0 & 1/2 \sigma_{xy} & 1/2 \sigma_{xz} \\ 1/2 \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & 1/2 \sigma_{yz} \\ 1/2 \sigma_{xz} & 1/2 \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{array} = 0 \quad (2)$$

Главные напряжения обозначаются через $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. Главные напряжения упорядочены таким образом, что σ_1 представляет собой наибольшее положительное напряжение, а σ_3 – наибольшее отрицательное [2]. Интенсивность напряжения σ_1 представляет собой абсолютную величину наибольшей из трех разностей: $\sigma_1 - \sigma_2, \sigma_2 - \sigma_3$ или $\sigma_3 - \sigma_1$, т.е.:

$$\sigma_1 = (|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1|) \quad (3)$$

Принимая во внимание практически полное отсутствие в Криворожском бассейне тектонических напряжений [5], для участка приконтурного массива горизонтальной выработки было проведено компьютерное моделирование характера перераспределения напряжений естественного поля, обусловленных силами гравитации.

Исследование процесса деформирования статически напряженного массива горных пород с пройденной в нем горизонтальной горной выработкой осуществлялось на моделях в виде блока, построенного по принципу Сен Венана. Его размеры рассчитывались индивидуально для каждого сечения (рис.1).

При постановке задачи были приняты следующие граничные условия, характерные для породных массивов Криворожского бассейна [6]: коэффициент Пуассона $\mu = 0,25 - 0,55$, модуль упругости пород $E = 14,9 \cdot 10^3 - 33,1 \cdot 10^3$ МПа, крепость пород $f = 9 - 18$, объёмный вес $\gamma = 2,6 - 3,2$ т/м³, коэффициент бокового распора $\lambda = 0,25 - 0,6$. Исходя из реальных условий строительства горизонтов на шахтах Кривбасса, при моделировании глубина заложения горной выработки рассматривалась в пределах $H = 850 - 1450$ м.

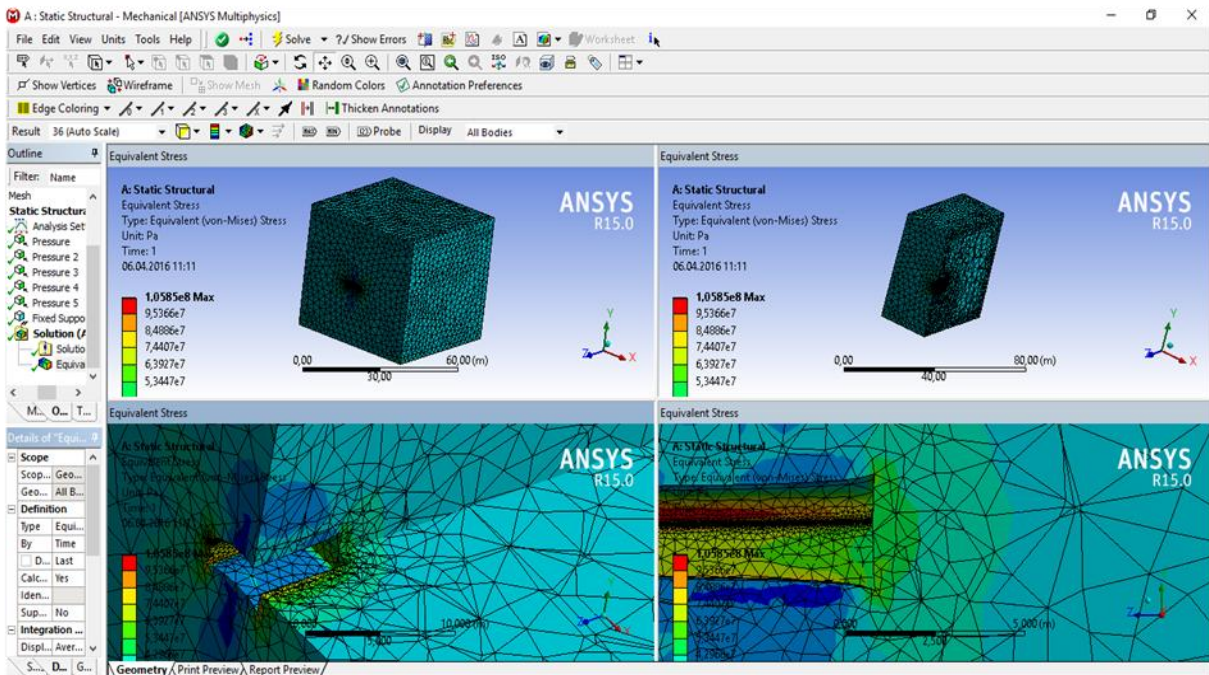


Рис. 1. Моделирование напряжённо-деформированного состояния массива

На рис. 2, показан один из вариантов определения размера зоны неравнокомпонентного напряжённого состояния (L_{zp}) и интенсивности распределения напряжений. Зона действий растягивающих напряжений (зона зоны неравнокомпонентного напряжённого состояния) в данном расчёте имеет длину $L_{zp} = 3140$ мм, за пределами этого размера соответственно самой зоны начинается зона сжимающих напряжений, которая стремится к естественному напряженному состоянию массива.

Также из рисунка видно, что зона разгрузки имеет три типа напряжений: P_{start} – начальное напряжение возле груди забоя; P_{max} – максимальное напряжение, находящиеся на определённом расстоянии от забоя, длина которого варьируется в зависимости от размера сечения и коэффициента бокового распора; P_{finish} – конечное напряжение, крайняя точка зоны разгрузки.

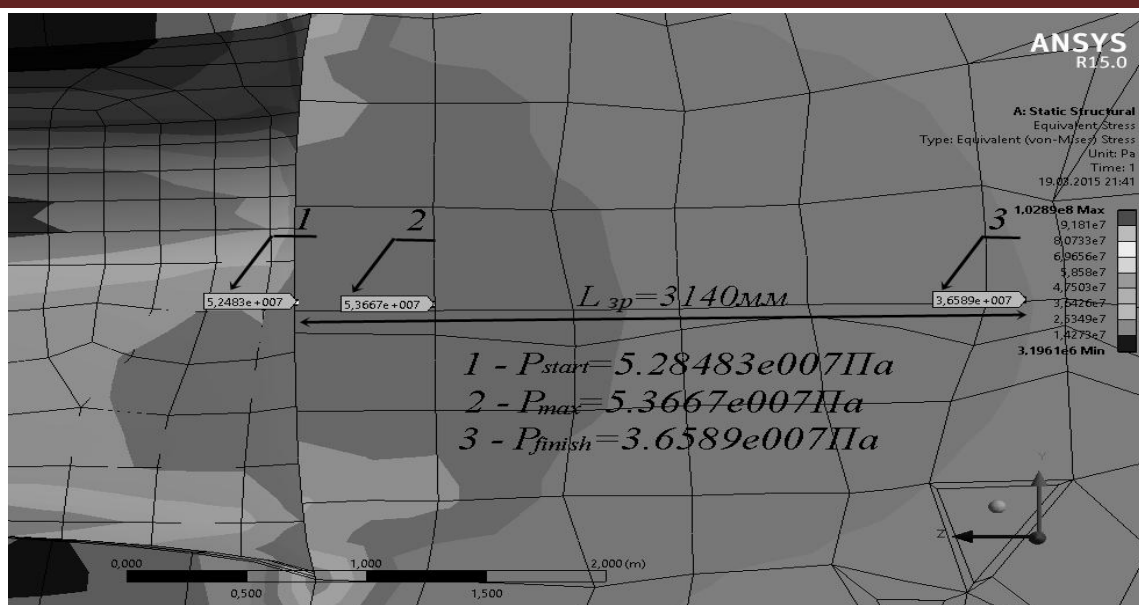


Рис. 2. Размер зоны неравнокомпонентного напряжённого состояния и эквивалентные напряжения

С целью обоснования зависимости длины зоны деформаций напряжений растяжения за плоскостью забоя от размеров площади сечения горной выработки был проведён сравнительный анализ, в котором установлено, что при увеличении сечения выработки увеличивается зона неравнокомпонентного напряжённого состояния. На основании полученных результатов построены соответствующие графики, рис. 3.

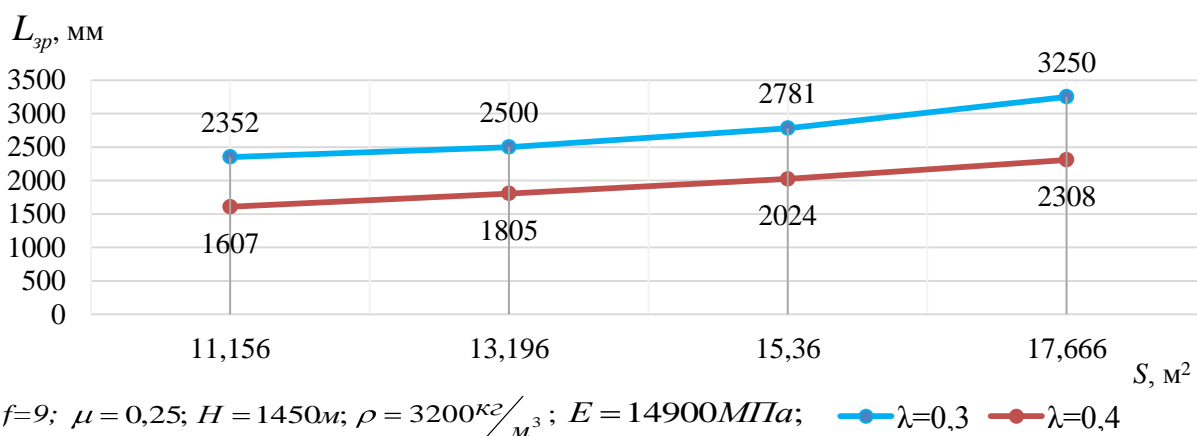


Рис. 3. Обоснования зависимости длины зоны от размеров площади сечения

Следующим этапом исследование было определение зависимости влияния глубины заложения горной выработки на размер зоны неравнокомпонентного напряжённого состояния, рис. 4.

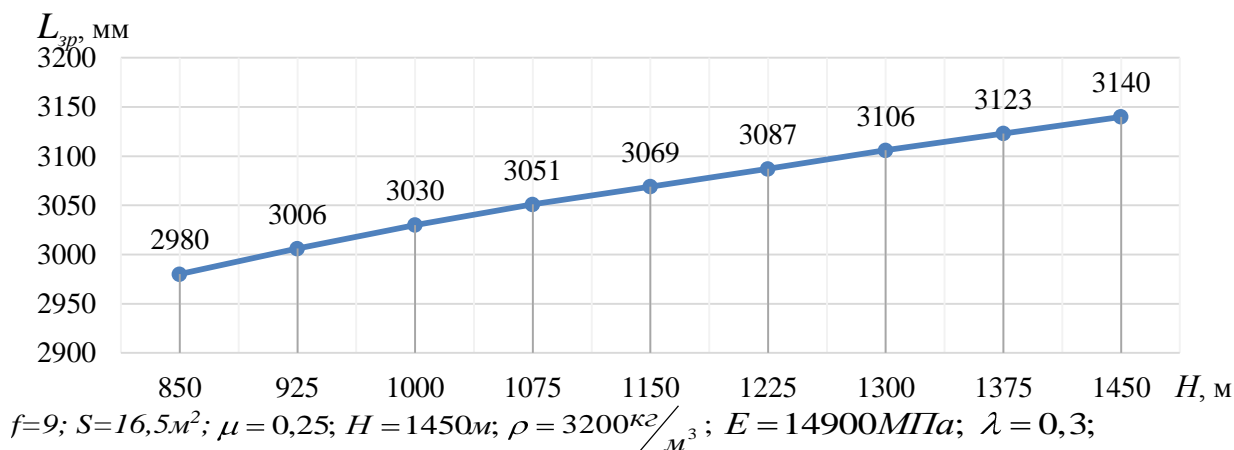


Рис. 4. Определение влияния глубины заложения выработки на размер зоны

Размер глубины менялся относительно шагу заложения горизонтов на шахте Родина Публичного Акционерного Общества «Криворожский железорудный комбинат» (ПАО «КЖРК»).

Основываясь на полученных данных, можно утверждать, что при изменении глубины заложения горной выработки размер зоны неравнокомпонентного напряжённого состояния имеют незначительные колебания значений.

Рассматривая вопрос зависимости длины зоны неравнокомпонентного напряжённого состояния за плоскостью забоя от коэффициента бокового распора (рис. 5). Определено, что чем меньше λ тем больше длина зоны растяжений, чем больше λ тем больше сжимающих напряжений возникает в массиве и соответственно влияют на размер зоны уменьшая её.

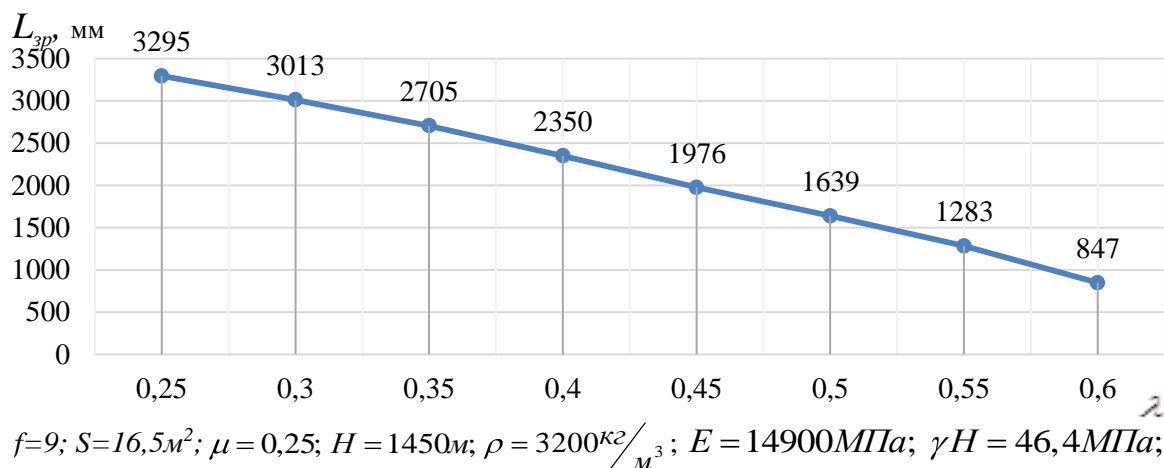


Рис. 5. Определение длины зоны от λ

Выводы

Подводя итоги исследования и анализирования получаемых данных доказано, что в процессе выемки породы при проведении выработок

происходит перераспределение статических напряжений и в призабойной области массива возникает непосредственно примыкающая к плоскости забоя зона неравнокомпонентного напряженного состояния (зона пластических деформаций растяжения), которая переходит в зону сжатия (естественное напряжённое состояние массива).

Также, определено, что вариации подстановки: коэффициента Пуассона, модуля Юнга, плотности, крепости горных пород и ихнего объёмного веса, не дают значительных изменений в измерениях размера зоны разгрузки, поскольку все получаемые данные схожи между собой и имеют незначительные колебания значений. Установлено, что изменения глубины заложения, размера сечения и коэффициента бокового распора оказывают основное влияние на размер зоны и тем самым являются основными факторами, влияющими на неё.

Список использованных источников

1. Борисов, А.А. Механика горных пород и массивов [Текст] / А.А. Борисов. – Москва: Недра, 1980. – 360 с.
2. Лукьянова, А.Н. Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS [Текст] / А.Н. Лукьянова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 52 с.
3. Заславский, Б.Б. Краткий курс сопротивления материалов [Текст] / Б.Б. Заславский. – Москва: Машиностроение, 1986. – 328 с.
4. Работнов, Ю.Н. Сопротивление материалов [Текст] / Ю.Н. Работнов. – Москва: Физматгиз, 1963. – 456 с.
5. Малахов, Г.М. Управление горным давлением при разработке рудных месторождений Криворожского бассейна [Текст] / Г.М. Малахов, М.В. Гуминский. – Киев: Наук. Думка, 1990. – 204 с.
6. Глушков, В.Т. Инженерно-геологические особенности железорудных месторождений [Текст] / В.Т. Глушков, В.Г. Борисенко. – Москва: Недра, 1978. – 253 с.

Статья поступила в редакцию 11.08.2016 г.

УДК 622.236.9

Ю.І. Войтенко, д.т.н., головний наук. співробітник (Український державний геологорозвідувальний інститут), **А.М. Шукуров**, аспірант (НТУУ «КПІ»)

ПРО ЕНЕРГОЄМНІСТЬ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ТА ШЛЯХИ ЇЇ ЗМЕНШЕННЯ

Yu.I. Voitenko (Ukrainian State Geological Prospecting Institute), **A.M. Shukurov**