

УДК 622.268.3

Сергеев С.С., аспирант кафедры строительных геотехнологий
Государственное ВУЗ «Криворожский национальный университет»,
г. Кривой Рог, Украина.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ РАЗГРУЗКИ ЗА ПЛОСКОСТЬЮ ЗАБОЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

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. 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.

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.

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 разгрузки и построения модели по всем критериям и нормам. Было решено использовать комплекс Ansys Workbench в котором учитываются трехмерные напряжения и нагрузки, образующиеся в нескольких направлениях. 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. Эквивалентное напряжение ($\sigma_{\text{эКВ}}$) – это напряжение, под действием которого материал в условиях простого растяжения-сжатия оказывается в равно опасном состоянии с рассматриваемым сложным напряженным состоянием [1].

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:

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

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. 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.:

$$\sigma_1 = (|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1|) \quad (2)$$

Напряжения вон Мизеса, или эквивалентные напряжения σ_e вычисляются по формуле:

$$\sigma_e = ([(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]/2)^{1/2} \quad (3)$$

Рассматривая возможность решения задачи МКЭ в программном комплексе Ansys, был проведён анализ размера зоны разгрузки горизонтальной горной выработки за плоскостью забоя, определение составляющих и влияющих факторов на неё.

В приконтурных массивах горных выработок возникают зоны разгрузки, это зона действий растягивающих напряжений за плоскостью забоя, параметры которых изменяются по мере изменения глубины заложения, размера сечения и коэффициента бокового распора.

Моделирование процесса деформирования напряжений массива горных пород с горизонтальной горной выработкой рассматривается в виде блока, построенного по принципу Сен Венана, размером $50 \times 50 \times 50$ м.

При постановке задачи были приняты следующие граничные условия, характерные для породных массивов шахт Кривбасса [2]: изотропный упругий однородный массив, коэффициент Пуассона $\mu = 0,25 - 0,55$; модуль упругости $E = 14900 - 33100$ МПа; глубина заложения горной выработки $H = 850 - 1450$ м; крепостью пород $f = 9 - 18$; объёмный вес $\gamma = 2,6 - 3,2$ т/м³; коэффициент бокового распора $\lambda = 0,25 - 0,6$.

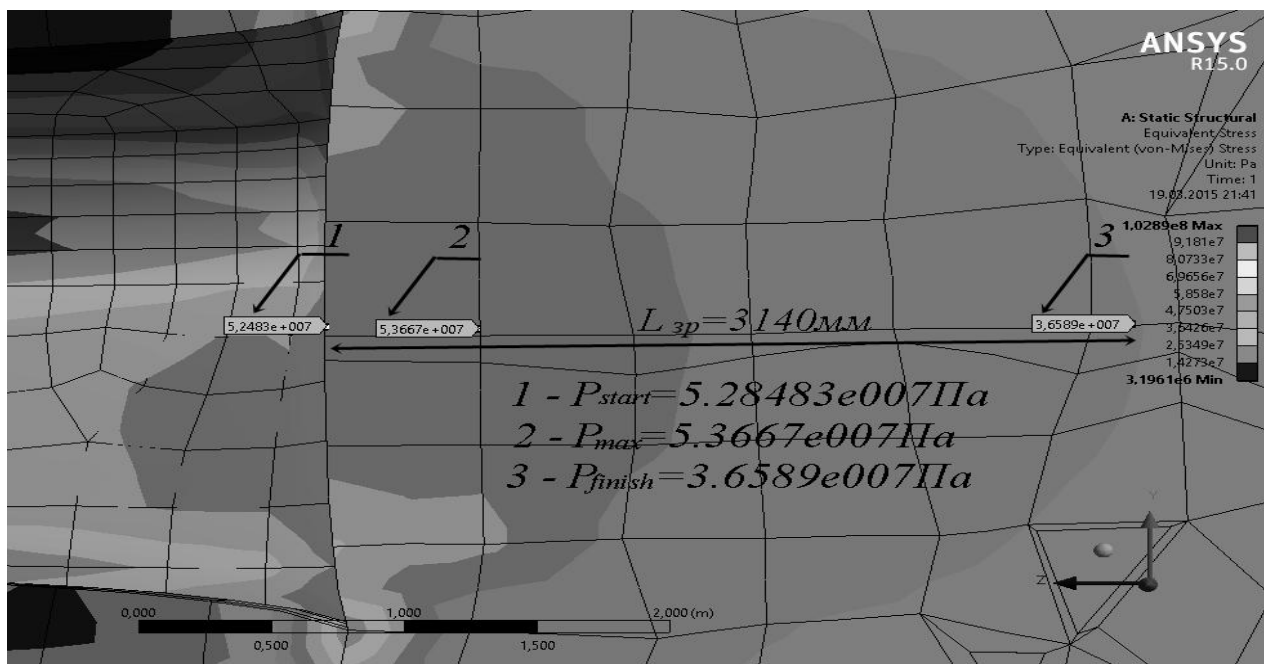
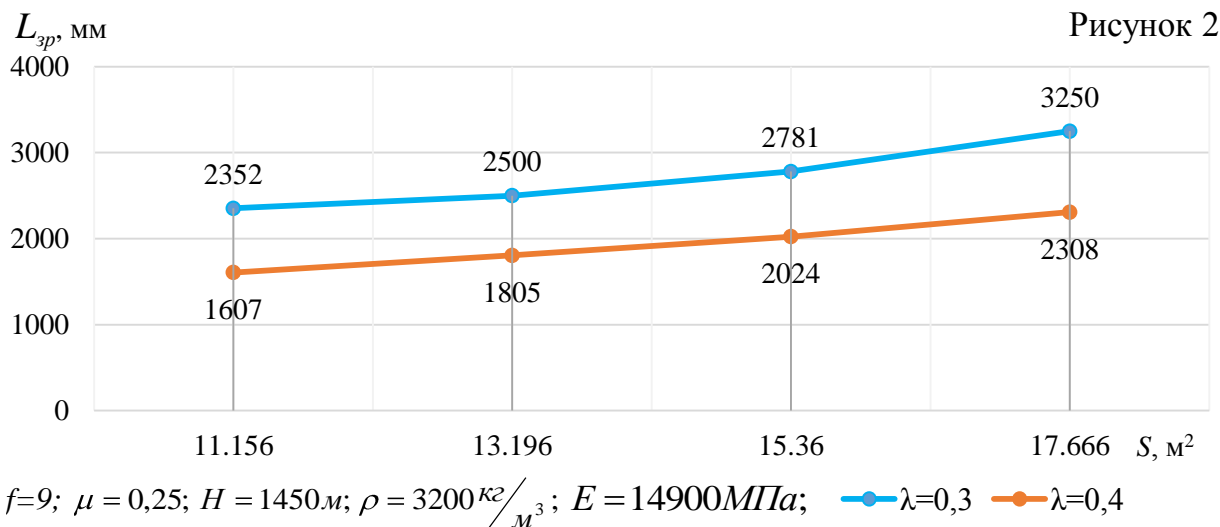


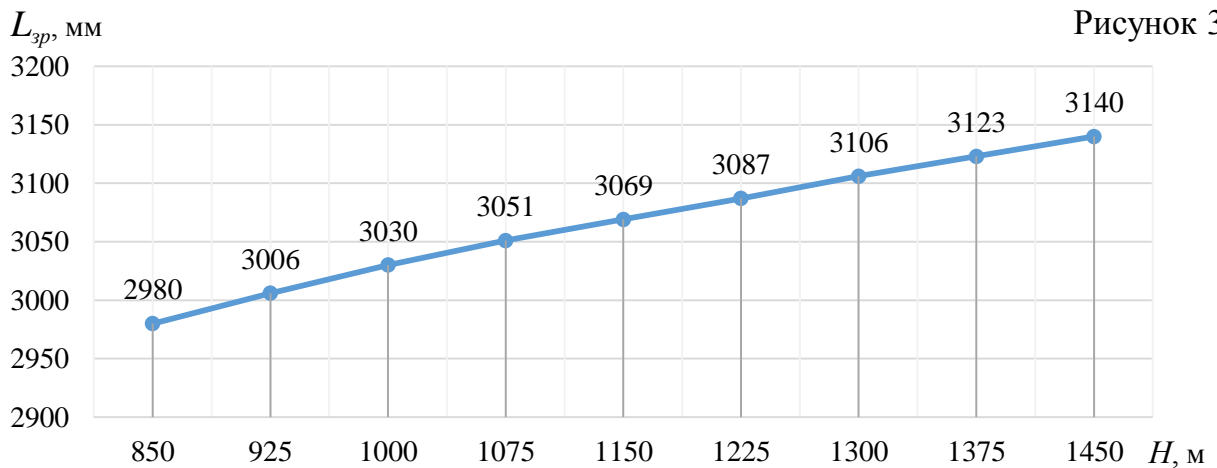
Рис. 1. – Размер зоны разгрузки и эквивалентные напряжения

На рис.1 показан один из вариантов определения размера зоны разгрузки (L_{zp}) и интенсивности распределения напряжений. Зона действий растягивающих напряжений (зона разгрузки) в данном расчёте имеет длину $L_{zp} = 3140\text{мм}$, 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.



С целью обоснования зависимости длины зоны напряжений за плоскостью забоя от размеров площади сечения горной выработки был проведён сравнительный анализ, в котором было установлено, что при увеличении сечения выработки увеличивается зона разгрузки. На основании полученных результатов построены соответствующие графики, рис. 2.

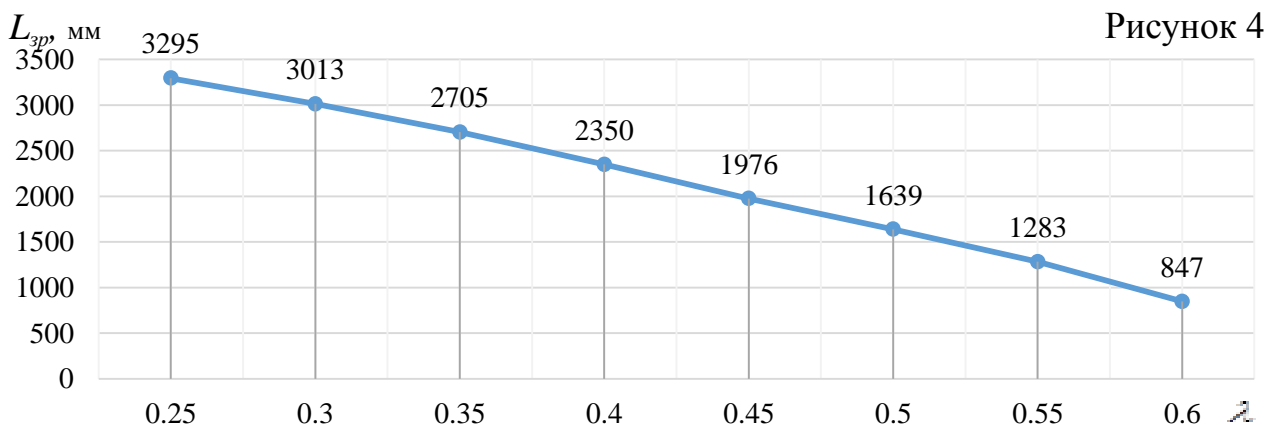
Следующим этапом исследование было определение зависимости влияния глубины заложения горной выработки на размер зоны разгрузки. Размер глубины менялся относительно шагу заложения горизонтов на шахте Родина Публичного Акционерного Общества «Криворожский железорудный комбинат» (ПАО «КЖРК»), рис. 3.



$$f=9; S=16,5м^2; \mu = 0,25; H = 1450м; \rho = 3200\frac{кг}{м^3}; E = 14900МПа; \lambda = 0,3;$$

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

Рассматривая вопрос зависимости длины зоны разгрузки за плоскостью забоя от коэффициента бокового распора (рис.4). Определено, что чем меньше λ тем больше длина зоны разгрузки, чем больше λ тем больше сжимающих напряжений возникает в массиве и соответственно влияют на размер зоны уменьшая её.



$$f=9; S=16,5м^2; \mu = 0,25; H = 1450м; \rho = 3200\frac{кг}{м^3}; E = 14900МПа; \gamma H = 46,4МПа;$$

Подводя итоги исследования и анализирования получаемых данных было определено, что вариации подстанции: 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. Также установлено, что изменения глубины заложения, размера сечения и коэффициента бокового распора оказывают основное влияние на размер зоны разгрузки и тем самым являются основными факторами, влияющими на неё.

Дальнейшие исследования следует направить на изучения вопроса концентрации интенсивности напряжений в зоне разгрузки, которое позволит определить оптимальную глубину бурения шпуров с применением высокопроизводительных проходческих комплексов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS: учеб.- метод. пособие. / А.Н. Лукьянова. – Самара; Самар. гос. техн. ун-т, 2010. - 52 с.: ил. 49.
2. Глушков В.Т., Борисенко В.Г., Инженерно-геологические особенности железорудных месторождений. М., «Недра», 1978. 253 с.