

## Геомеханическое обоснование проведения подготовительных выработок на глубоких горизонтах рудных шахт

B. Andreev /Dr. Sci. (Tech.), S. Sergeev

Kryvyi Rih National University Ukraine

### Geomechanical substantiation of carrying out of development workings in the deep horizons of ore mines

**Цель.** Исследовать особенности сооружения горных выработок на шахтах Криворожского бассейна. Выявить и обосновать основные причины низкой производительности проходческого оборудования. Проанализировать характерные особенности геомеханического состояния массива пород за плоскостью забоя горизонтальной горной выработки.

**Методика.** Поставленная цель достигнута путем использования методов комплексного обобщения, анализа и оценки практического опыта и научных достижений в области строительной геотехнологии, теории и практики взрывного разрушения твердых сред, методов механики сплошных сред, а также методов имитационного компьютерного моделирования геомеханических процессов.

**Результаты.** 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.

**Научная новизна.** Впервые приведены результаты компьютерного моделирования распределения напряжений естественного поля в примыкающем к забою выработки массиве горных пород для условий глубоких горизонтов шахт Кривбасса.

**Практическая значимость.** Заключается в разработке высокоэффективной организации работ с учётом влияющих геомеханических факторов при строительстве горизонтальных горных выработок с применением высокопроизводительных импортных комплексов, что позволит более эффективно использовать возможности современного проходческого оборудования и повысить производительность горностроительных работ более чем в 1,25 раз. (Ил. 4. Библиогр.: 6 назв.)

**Ключевые слова:** шахта; горизонтальная горная выработка; проходческое оборудование; напряжённо-деформированное состояние массива; взрывное разрушение пород, организация проходческих работ.

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

Увеличение глубины ведения горных работ сопровождается ухудшением геологических и горнотехнических условий [1]. При этом требуются решения задач по обеспечению скорейшего ввода в действие новых горизонтов, повышению эффективности капитальных вложений, снижению стоимости строящихся объектов и рационального использования строительных материалов на основе совершенствования инженерных методов расчета и создания высокоэкономичных проектов, которые отвечают современным требованиям научно-технического прогресса. Эти вопросы приобретают особое значение в

процессе строительства протяженных горизонтальных выработок.

**Постановка проблемы.** Одной из существенных проблем ряда шахт Криворожского железорудного бассейна является значительное отставание в сроках подготовки и сдачи в эксплуатацию новых горизонтов. Это обусловлено не только объективными причинами общеэкономического характера, но и использованием до недавнего времени морально устаревшего проходческого оборудования, разработанного во второй половине прошлого столетия. Однако с появлением современных импортных комплексов проходческого оборудования возник вопрос о повышении эффективности их использования за счет приведения в соответствие технических возможностей оборудования с параметрами применяемой технологии проходки.

**Методика исследований. Изложение основного материала.** Анализ производственной деятельности шахт Публичного акционерного общества «Криворожский железорудный комбинат» (ПАО «КЖРК») показал наличие тесной связи между технической производительностью проходческого оборудования и коэффициентом его использования (КИО). Данный показатель характеризует степень производительного использования оборудования как активной части производственных основных фондов [2]. В большинстве случаев КИО рассчитывается как отношение продолжительности фактической работы оборудования к плановому фонду времени. Установлено, что чем большую техническую производительность имеет самоходное оборудование, тем ниже коэффициент его использования. Это можно объяснить многооперационностью взаимосвязанных систем параметров и операций, составляющих производственный процесс, а также вероятностной и естественной продолжительностью их выполнения.

Немаловажной причиной низкого КИО также является несоответствие традиционных параметров заходки возможной глубине бурения комплекта шпуров. Вместе с тем попытки увеличения глубины заходки в ряде случаев привели к снижению эффективности взрывного разрушения породы в пределах контура выработки. Анализ публикаций и собственные исследования авторов показали, что применение глубоких заходов невозможно без предварительной геомеханической оценки состояния породного массива за плоскостью забоя выработки.

Для участка приконтурного массива горизонтальной выработки было проведено компьютерное моделирование характера перераспределения напряжений естественного поля, обусловленных силами гравитации. Из ряда программ, включающих в себя статический структурный анализ, позволяющий рассчитать перемещения, деформации, напряжения и внутренние усилия, возникающие в физическом теле под действием статической нагрузки, было решено использовать программный комплекс ANSYS Workbench, в котором учитываются многонаправленные нагрузки, суммируемые для получения эквивалентных напряжений, участвующих в дальнейших расчетах [3].

Программный комплекс ANSYS построен на основе метода конечных элементов, в котором для расчёта статических напряжений используется теория прочности Губера – Мизеса – Хенки, также известная как четвертая теория наибольшей удельной потенциальной энергии формоизменения. Она гласит, что материал в зависимости от типа напряженного состояния может вести себя как хрупко, так и пластично [4].

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

При постановке задачи были приняты следующие граничные условия, характерные для породных массивов Криворожского бассейна [5; 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/м<sup>3</sup>, 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.

В ходе исследований определено, 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 деформаций растяжения), имеющая протяженность  $L_{сп}$  за которой следует зона сжатия. На рис. 1, показан вариант компьютерной модели для выработки площадью сечения  $S = 15,36$  м<sup>2</sup>, расположенной на глубине  $H = 1450$  м.

Из рис. 1 видно, что зона неравнокомпонентного напряженного состояния имеет три типа напряжений: 1 –  $P_{start}$  – начальное напряжение возле груди забоя; 2 –  $P_{max}$  – максимальное напряжение, находящиеся на определённом расстоянии от забоя, длина которого варьируется в зависимости от размера сечения и коэффициента бокового распора; 3 –  $P_{finish}$  – конечное напряжение, соответствующее крайней точке рассматриваемой зоны на расстоянии от плоскости забоя выработки, составляющем  $L_{сп} = 3,14$  м. Далее начинается зона сжимающих напряжений, интенсивность которых по мере удаления от выработки стремится к уровню естественного напряженного состояния массива.

На основе анализа полученных данных установлено, что изменение значений коэффициента Пуассона, модуля упругости пород, плотности, крепости горных пород и их объёмного веса в пределах диапазонов их варьирования, характерных для условий Кривбасса, не оказывает существенного влияния на параметры исследуемых зон за плоскостью забоя выработки. Вместе с тем основными факторами, влияющими на них, являются глубина заложения и площадь поперечного сечения выработки, а также коэффициент бокового распора. Результаты представлены на рис. 2–4.

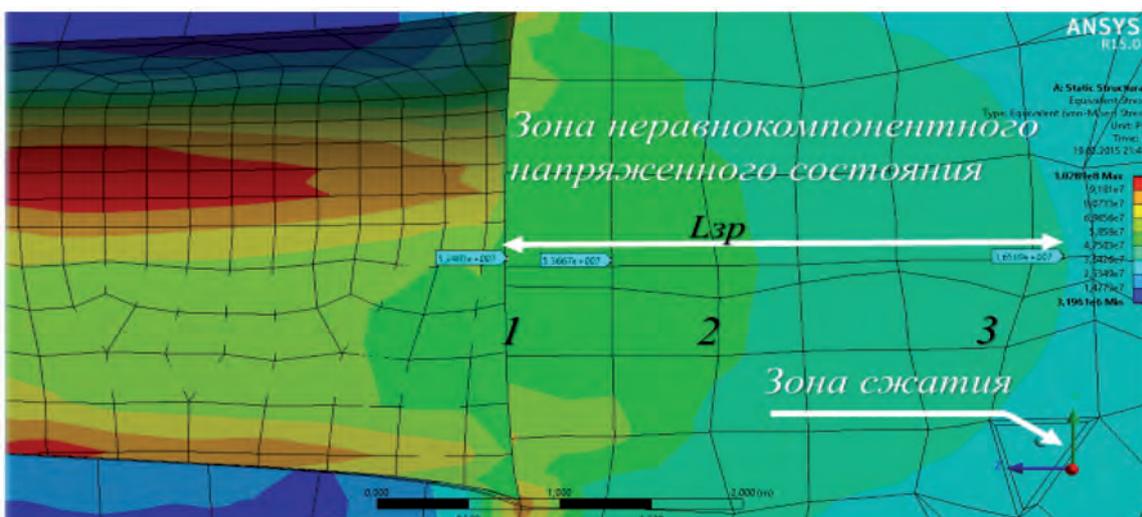


Рис. 1. Размер зоны неравнокомпонентного напряженного состояния и эквивалентные напряжения

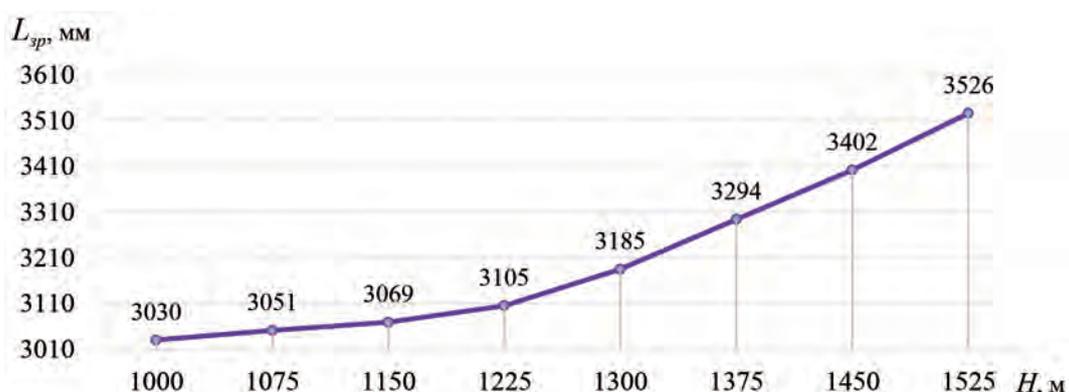


Рис. 2. Графики зависимости протяженности зоны неравнокомпонентного напряженного состояния глубины заложения выработки

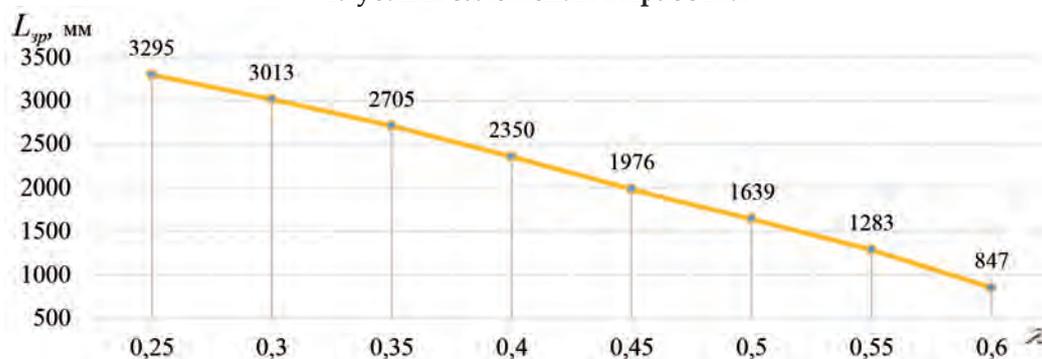


Рис. 3. Графики зависимости протяженности зоны неравнокомпонентного напряженного состояния от коэффициента бокового распора



Рис. 4. Графики зависимости протяженности зоны неравнокомпонентного напряженного состояния от площади сечения

Исходя из полученных и проанализированных данных, можно утверждать, что при проходке выработок, имеющих площадь поперечного сечения 9–17 м<sup>2</sup>, расположенных на глубине свыше 1000 м, протяженность зон неравнокомпонентного напряженного состояния варьирует в пределах от 2,3 до 3,5 м.

Анализ технико-экономических показателей проходки горизонтальных выработок на глубоких горизонтах шахт ПАО «КЖРК» показал, что при размещении зарядов ВВ в пределах зоны неравнокомпонентного напряженного состояния достигается высокая эффективность взрывного разрушения горных пород при снижении общих затрат ВВ. В области сжатия условия разрушения массива ухудшаются и требуют дополнительного количества ВВ для его качественно-го разрушения.

Таким образом, в условиях строительства глубоких горизонтов шахт Криворожского бассейна оптимальной можно считать глубину комплекта шпуров 2,5–3,5 м. Заряды ВВ при этом находятся в зоне деформаций растяжения, где условия разрушения породного массива весьма благоприятны.

Переход на заходки повышенной глубины обусловил необходимость решения еще одной актуальной научно-технической задачи, заключающейся в разработке эффективной стратегии организации проходческих работ, которая позволит максимально сочетать возможности современной техники и геомеханические факторы. В связи с этим для условий шахт ПАО «КЖРК» были исследованы параметры проходческих циклов при проведении протяженных горизонтальных выработок заходками глубиной 2,5–3,5 м с использованием закупленного предприятием высокопроизводительного бурового оборудования компаний Atlas Copco и Sandvik Tamrock.

В результате расчетов определены оптимальные продолжительности операций проходческого цикла при проведении выработок импортной техникой с учетом геомеханических факторов. В основу расчета заложено 16 циклов проходки с техническим обслуживанием техники и настилкой рельсового пути. Анализ полученных результатов показал, что продолжительность проходки за 16 циклов составляет 377 часов. Это, соответственно, 19 рабочих дней. Значение КИО составляет 2,8 смены, а суммарная длина пройденной выработки – 53 м, что более чем в 2 раза превышает традиционные показатели. Если взять за основу работу в течение 30 суток, то комплексы современного оборудования обеспечат за этот период 28 проходческих циклов с суммарным продвижением забоя 95 м.

**Выводы.** Таким образом, совершенствование параметров технологии сооружения протяженных выработок с учетом геомеханических и организационных факторов позволяет более эффективно использовать возможности современного проходческого оборудования, увеличив производительность горностроительных работ более чем в 1,25 раз. Это дает возможность повысить интенсивность подготовки горизонтов и уменьшить общее количество техники и персонала.

### Библиографический список / References

1. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов / А. А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.

Borisov A. A. *Mehanika gorniyh porod i massivov*. M., Nedra, 1980. 360 p.

2. Андреев Б. М. Оптимізація часу проведення гірських виробок при реконструкції шахт / Б. М. Андреев, В. В. Кононенко, Д. В. Бровко // Вісник Криворізького технічного університету: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: КТУ. – 2010. – Вип. 25. – С. 56–61.

Andreev B. M., Kononenko V. V., Brovko D. V. *Optimizatsiya chasu provedenniya girskeh virobok pri rekonstruktsiyi shaht*. Visnik Krivorozkogo tehlnchnogo unlversitetu. Kriviy Rig, KTU. 2010. Issue. 25, pp. 56-61.

3. Лукьянова А. Н. Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS: учеб.-метод. пособие / А. Н. Лукьянова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 52 с.

Lukyanova A. N. *Modelirovanie kontaktnoy zadachi s pomoschyu programmy ANSYS*. Samara, Samar. gos. tehn. un-t, 2010. 52 p.

4. Esam M. Alawadhi Finite Element Simulations Using ANSYS - CRC Press, ISBN-10: 1439801606, 416 p.

5. Малахов Г. М. Управление горным давлением при разработке рудных месторождений Криворожского бассейна / Г. М. Малахов; отв. ред. М. В. Гуминский; АН УССР. Ин-т геол. наук. – Киев: Наук. Думка, 1990. – 204 с.

Malahov G. M. Ed. M. V. Guminskiy. *Upravlenie gornym davleniem pri razrabotke rudnykh mestorozhdeniy Krivorozhskogo basseyna*. AN USSR. In-t geol. nauk. Kiev, Nauk. Dumka, 1990. 204 p.

6. Глушков В. Т. Инженерно-геологические особенности железорудных месторождений / В. Т. Глушков, В. Г. Борисенко. – М.: Недра, 1978. – 253 с.

Glushkov V. T., Borisenko V. G., *Inzhenerno-geologicheskie osobennosti zhelezorudnykh mestorozhdeniy*. Moscow, Nedra, 1978. 253 p.

**Goal.** Explore of the mine workings construction in the mines of the Krivoy Rog Basin are considered.

Identify and justify the major reasons of low productivity of excavating equipment. To perform the characteristic features of the geomechanical state of rock mass in the plane of the horizontal bottom of excavation.

**Technique.** The goal is achieved through the use of integrated methods of generalization, analysis and evaluation of practical experience and scientific achievements in the field of construction Geotechnology, theory and practice of explosive destruction of solid materials methods continuum mechanics, and methods of computer simulation modeling of geomechanical processes.

**Results.** 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.

**Scientific novelty.** For the first time the results of computer simulation of stress distribution in the natural field adjacent to the bottom output the massif of rocks of deep horizons of mines of Krivbass.

**Practical significance.** Is to develop high-performance work organization subject to the influence of geomechanical factors in the construction of horizontal mine workings with the use of imported high-performance complexes that will allow more efficient use of modern excavating equipment, increase productivity of modern excavating equipment works by more than 1,25 times.

**Key words:** mine; horizontal excavation; excavating equipment; stress-strain state; explosive destruction of rocks; the organization of the tunnel works.

Поступила 01.07.2016



УДК 622.241

А. А. Игнатов

Наука

ГБУЗ «Национальный горный университет»

## Исследования строения глинисто-шламовых кавернозных скоплений при бурении глубоких скважин

A. A. Ignatov

National Mining University

### Researches into structure of clay-mud vuggy formations at drilling of long bore holes

**Цель.** Обоснование технологических параметров устройства для обработки кавернозной зоны скважины, исходя из установленных зависимостей формирования и удаления глинисто-шламовых скоплений и их влияния на результаты тампонирования скважин.

**Методика.** Стендовое моделирование и комплексный инструментальный контроль процесса формирования глинисто-шламовых скоплений и их влияния на технологические показатели строительства скважин.

**Результаты.** Проанализированы причины явления кавернообразования в стволе скважины. Показана прямая зависимость эффективности буровых работ от качества проведения операций по креплению скважин. Рассмотрены особенности свойств глинисто-шламовых скоплений, формируемых в осложненных интервалах. Описаны результаты исследования влияния различных факторов на показатели шламонакопления в кавернозных зонах. Перечислены направления дальнейшей работы в области совершенствования технологии крепления скважин.

**Научная новизна.** Показателем качества работ по креплению и тампонированию, при использовании устройства для обработки ствола скважины, является снижение угла откоса шламовых скоплений пропорционально мощности каверн.

**Практическая значимость.** Полученные результаты теоретических и лабораторных исследований могут быть положены в основу создания эффективной технологии крепления и тампонирования ствола скважины с высокими технико-экономическими показателями. Данные по изучению шламонакопления в кавернах являются базовыми для разработки рациональных режимных параметров процесса бурения скважин. (Ил. 5. Табл. 1. Библиогр.: 8 назв.)

**Ключевые слова:** скважина, каверна, глинисто-шламовые скопления, устройство для обработки, глина, промывочная жидкость.