

УДК 622.272.4: 622.83

### ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПРОХОДКИ ПРОТЯЖЕННЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

**Б. Н. Андреев, С. С. Сергеев**

Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»  
ул. Виталия Матусевича, 11, Кривой Рог, 50027, Украина. E-mail: andrejev\_bn@mail.ru

Рассмотрены особенности сооружения горных выработок на шахтах Криворожского бассейна. Выявлены и обоснованы основные проблемы низкой производительности проходческого оборудования. Проанализированы характерные особенности геомеханического состояния массива пород за плоскостью забоя горизонтальной горной выработки. Определена оптимальная программа, на основе методов конечных элементов позволяющая рассчитать перемещения, деформации, напряжения, внутренние усилия, возникающие в теле под действием статической нагрузки. 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 пластических деформаций растяжения за плоскостью забоя горизонтальной горной выработки с учётом ее индивидуальных параметров. Проанализированы типы взрывчатых веществ, используемых при строительстве подземных сооружений различного назначения на горнорудных предприятиях Криворожского бассейна, а также принципы компоновки зарядов эмульсионных взрывчатых веществ в шпурах. Предложен способ компоновки заряда с учётом длины зоны напряжённо-деформированного состояния за плоскостью забоя, обоснованы основные условия заполнения шпура эмульсионным взрывчатым веществом.

**Ключевые слова:** шахта, выработка, оборудование, массив, взрывчатка.

### ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОХОДКИ ПРОТЯЖНИХ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ВИРОБОК З ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ПРОХІДНИЦЬКИХ КОМПЛЕКСІВ

**Б. М. Андреев, С. С. Сергеев**

Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет утворений»  
вул. Віталія Матусевича, 11, Кривий Ріг, 50027, Україна. E-mail: andrejev\_bn@mail.ru

Розглянуто особливості спорудження гірничих виробок на шахтах Криворізького басейну. Виявлено та обґрунтовано основні проблеми низької продуктивності прохідницького обладнання. Проаналізовано характерні особливості геомеханічного стану масиву порід за площиною вибою горизонтальної гірничої виробки. Визначена оптимальна програма, на основі методів кінцевих елементів яка дозволяє розрахувати переміщення, деформації, напруження, внутрішні зусилля, що виникають в тілі під дією статичного навантаження. Наведено результати комп'ютерного моделювання розподілу напружень природного поля для умов шахт Кривбасу. Встановлено складові елементи зони неравнокомпонентного напруженого стану в приконтурному масиві гірничої виробки. Визначено довжину зони пластичних деформацій розтягування за площиною вибою горизонтальної гірничої виробки з урахуванням її індивідуальних параметрів. Проаналізовано типи вибухових речовин, що використовуються при будівництві підземних споруд різного призначення на гірничорудних підприємствах Криворізького басейну, а також принципи компонування зарядів емульсійних вибухових речовин в шпурах. Запропоновано спосіб компонування заряду з урахуванням довжини зони напружено-деформованого стану за площиною вибою, обґрунтовано основні умови заповнення шпуру емульсійними вибуховими речовинами.

**Ключові слова:** шахта; вироблення; обладнання; масив; вибухівка.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** 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 горно-технических условий [1]. Всё это требует 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 горно-капитальных выработок.

Также, одной из первоочередных 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. Понимая острую необходимость в повышении темпов подготовительных работ, предприятия приложили максимум усилий в техническом переоснащении парка горнопроходческого оборудования. Однако с появлением современных импортных комплексов возник вопрос о повышении эффективности их использования за

счет приведения в соответствие технических возможностей оборудования с параметрами применяемой технологии проходки.

По различным оценкам, технические возможности современного проходческого оборудования на шахтах Кривбасса используются не более чем на 65 %. Это связано, в том числе, с глубиной бурения шпуров, которая фактически не превышает 2,5 м, что существенно ниже заявленных производителем оборудования показателей. Высокая эффективность комплексов может быть получена только при увеличении объемов работ за счет перехода на глубокие заходки, соответствующие характеристикам бурильных установок. Однако практика показала, что увеличение глубины заходки без учета особенностей напряженно деформированного состояния породного массива за плоскостью забоя приводит к снижению коэффициента использования шпура (КИШ), возрастанию удельного расхода взрывчатого вещества (ВВ), существенному ухудшению качества оконтуривания выработок [2].

Цель работы – совершенствование технологии проходки горизонтальных горных выработок высокопроизводительными комплексами путём согласования параметров буровзрывных работ с геомеханическим состоянием породного массива за плоскостью забоя выработки и адаптации организации работ с техническими параметрами проходческого цикла.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** В последние годы при проходке подземных капитальных, подготовительных и очистных выработок на рудниках применяется высокопроизводительное самоходное проходческое оборудование с автономным дизельным или электрическим приводом. Однако при традиционной организации ведения проходческих работ, применение комплексов самоходного оборудования в одном забое, как правило, не оправдывает материальных затрат на их приобретение, так как в большинстве случаев техника значительную часть времени простаивает в ожидании фронта работ.

Анализ производственной деятельности ряда 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. В большинстве случаев КИО рассчитывается как отношение продолжительности фактической работы оборудования к плановому фонду времени [3]. 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. Следует отметить, что обычно применяемый для

повышения КИО многозабойный способ ведения проходческих работ, базирующийся исключительно на основе практического опыта и интуиции инженерно-технических работников, хотя и доказал свою эффективность при использовании традиционной техники, в данном случае не дает положительных результатов.

Немаловажной причиной низкого КИО также является не соответствие 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.

Принимая во внимание практически полное отсутствие в Криворожском бассейне тектонических напряжений [4], для участка приконтурного массива горизонтальной выработки, а именно горизонта 1340 м с сечением  $S=18,5 \text{ м}^2$ , шахты «Октябрьская», Публичного Акционерного Общества «Криворожский железорудный комбинат» (ПАО «КЖРК»), было проведено компьютерное моделирование характера перераспределения напряжений естественного поля, обусловленных силами гравитации.

Входе 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 [5]. 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 [5]. 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 [6]. 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 [5–6], поскольку ни в одной точке тела касательные напряжения не должны превосходить предельного значения  $\sigma_\tau$  ( $\sigma_\tau$  – 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  $\sigma_i = \sigma_r$ , т.е. при пластическом течении интенсивность напряжений постоянна и предел текучести используется в качестве предельного напряжения [5–6].

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  $\sigma_0$ , которые представляют собой корни кубического уравнения, определяемого компонентами вектора напряжений:

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

Главные напряжения обозначаются через  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ . Главные напряжения упорядочены таким образом, что  $\sigma_1$  представляет собой наибольшее положительное напряжение, а  $\sigma_3$  – наибольшее отрицательное [7]. Интенсивность напряжения  $\sigma_i$  представляет собой абсолютную величину наибольшей из трех разностей:  $\sigma_1 - \sigma_2, \sigma_2 - \sigma_3$  или  $\sigma_3 - \sigma_1$ , т.е.:

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

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).

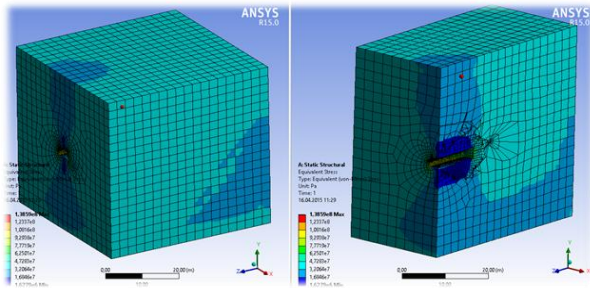


Рисунок 1 – Моделирование напряженно-деформированного состояния массива

При постановке задачи были приняты следующие граничные условия, характерные для породных массивов Криворожского бассейна: коэффициент Пуассона  $\mu = 0,25 - 0,55$ , модуль упругости пород  $E = 14,9 \cdot 10^3 - 33,1 \cdot 10^3$  МПа, крепость пород  $f = 9 - 18$ , объемный 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 Кривобасса, при моделировании глубина заложения горной выработки рассматривалась в пределах  $H = 850 - 1450$  м.

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

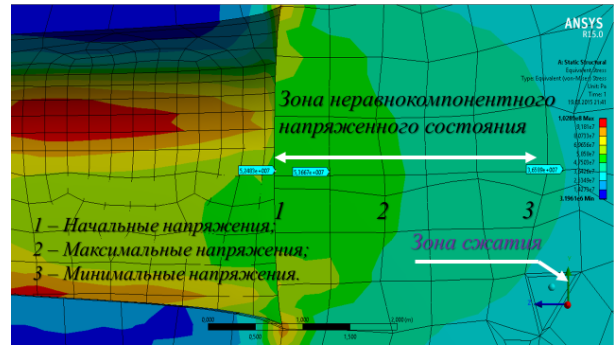


Рисунок 2 – Размер зоны неравнокомпонентного напряженного состояния и эквивалентные напряжения

Также из рисунка видно, что зона неравнокомпонентного напряженного состояния имеет три типа напряжений: 1 – начальное напряжение, находящееся возле груди забоя, 2 – максимальное напряжение находящиеся на расстоянии равном половине условного радиуса выработки и 3 – конечное напряжение, соответствующее крайней точке рассматриваемой зоны на расстоянии от плоскости забоя выработки. Далее начинается зона сжимающих напряжений, интенсивность которых по мере удаления от выработки стремится к уровню естественного напряженного состояния массива.

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

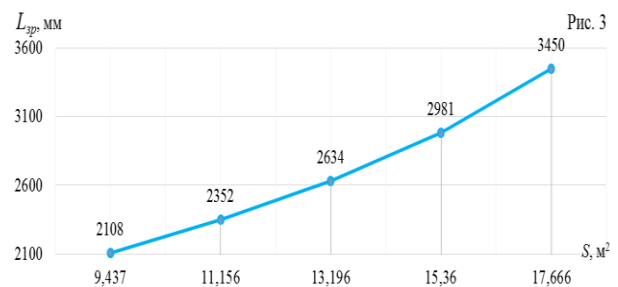


Рисунок 3 – Обоснования зависимости длины зоны от размеров площади сечения

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

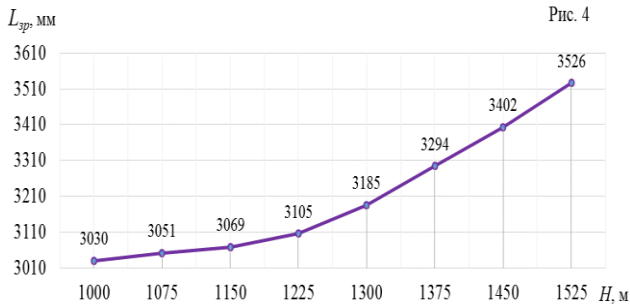


Рисунок 4 – Определение зависимостей глубины заложения выработки на размер зоны

Размер глубины менялся относительно шагу заложения горизонтов на шахте «Октябрьская» 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  $\lambda$  тем больше длина зоны растяжений, чем больше  $\lambda$  тем больше сжимающих напряжений возникает в массиве и соответственно влияют на размер зоны уменьшая её.

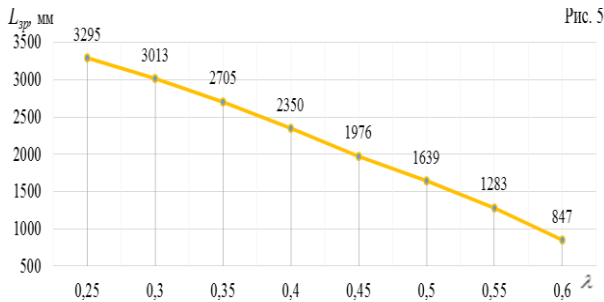


Рисунок 5 – Определение длины зоны от  $\lambda$

Опираясь на результаты компьютерного моделирования можно утверждать, 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 напряжённого состояния (зона пластических деформаций растяжения), которая переходит в зону сжатия (естественное напряжённое состояние массива).

На основе анализа полученных данных установлено, что изменение значений коэффициента Пуассона, модуля упругости, 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.

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 напряжённого состояния варьирует в пределах от 2,1 до 3,5 м.

Также определено, что при проходке выработки с площадью поперечного сечения 17,66 м<sup>2</sup>, расположенной на глубине 1525 м, протяженность зоны неравнокомпонентного напряжённого состояния составляет порядка 3,5 м. Таким образом бурение комплекта шпуров на полную длину зоны распределения напряжений будет рациональной поскольку основная часть зарядов ВВ будет находиться в зоне деформаций растяжения, где условия разрушения весьма благоприятны и эффективность взрываемой заходки увеличиться за счёт статических напряжений, находящихся вблизи забоя.

Опираясь на достижения и опыт учёных ранее исследуемых напряжённо деформированное состояние за плоскостью забоя получаем понятие о том, что в области сжатия условия разрушения массива ухудшаются и требуют дополнительного количества ВВ для его качественного разрушения. В области деформаций растяжения, напротив условия разрушения горного массива более благоприятны, здесь представляется возможность снизить затраты ВВ [8–10]. Однако основной трудностью при такой компоновке остаётся лишь то, что при использовании шпуров с глубиной свыше 1,8 м увеличивается вероятность прострелов и получения негабаритных кусков породы.

На горнорудных предприятиях Криворожского бассейна на протяжении последних лет при проведении подземных сооружений использовались тротилосодержащие ВВ а именно: аммонит № 6ЖВ и граммонит 79/21, а также детонит, содержащий нитроэферы. Выше перечисленные ВВ хоть и доказали свою эффективность при проходке выработок, с поставленной задачей не справятся в связи с большой глубиной комплекта шпуров и сложной компоновкой конструкции заряда.

Учитывая сказанное, в исследованиях, проводимых для условий ПАО «КЖРК» было предложено использовать эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ), а именно «Украинит-ПП-2». ЭВВ представляет собой жидкую двухкомпонентную смесь эмульсионной композиции (ЭК) и газогенерирующей добавки (ГД) [11]. ГД являются важнейшим компонентом ЭВВ, поскольку от их эффективности и насыщенности в составе зависит стабильность и продуктивность состава эмульсии. Стандартная компоновка заряда шпура до 2,5 м выглядит так: 99,0 % ЭК + 1,0 % ГД в результате получаем высокую степень дробления горной массы с полным

отсутствием негабаритов и не проработки подошвы (КИШ до 0,95) [11].

В нашем случае компоновку заряда в шпуре предлагается выполнять с учётом геомеханического состояния за плоскостью забоя. То есть в горизонтальном заряде плотность эмульсионного взрывчатого вещества с газогенерирующей добавкой по длине заряда разная. Потому что с плотностью эмульсионного ВВ в шпуре связана объёмная концентрация энергии и теплоты взрыва ВВ. Во избежание отказов при зарядании зарядов необходимо учитывать рациональную (критическую) плотность и допустимую концентрацию пероксида водорода  $H_2O_2$  из которого состоит ГГД.

В ходе исследования предлагается использовать конструкцию зарядов с прямым инициированием (патрон-боевик (Аммонит 6ЖВ и УНС-Ш) расположен первым от устья шпура), компоновка первой части заряда равна 98,8 % ЭК + 1,2 % ГГД, вторая часть компоуется по стандартному принципу, третья часть находится без заряда ЭВВ (рис.6).

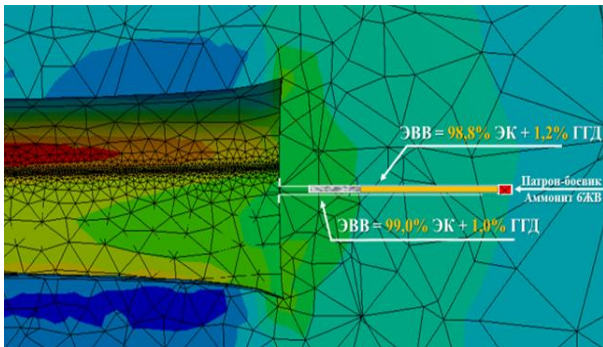


Рисунок 6 – Компоновка заряда ЭВВ в шпуре

Разделение заполнения конструкции заряда связана с вариацией напряжений в зоне неравнокомпонентного напряженного состояния. То есть от крайней точки зоны (3 тип напряжений) до точки максимальных напряжений (2 тип) длина зоны составляет 0,82 м, используем более концентрированный состав ЭВВ в связи с тем, что показатели напряжения растяжения минимальны. Вторая часть шпура 1,6 м заполняем стандартной компоновкой заряда из-за того, что она находится в зоне средних деформаций растяжения. Последняя третья часть не заряжается потому что:

- во-первых, находится в условиях разрушения породного массива, которые благоприятны и эффективность взрывающей заходки увеличивается за счёт максимальных статических напряжений, находящихся вблизи забоя;

- во-вторых, в связи с указаниями к использованию и техники безопасности ЭВВ которое гласят, что заряд в шпуре должен быть не заполнен на 35% во избежание переборов в ходе химической реакции.

Опираясь на выше сказанное можно утверждать, что в условиях строительства глубоких горизонтов шахт Криворожского бассейна в призабойной части массива возникают зоны неравнокомпонентного

напряженного состояния которые в компоновке с ЭВВ могут дать положительный эффект при проведении забоя глубокими заходками (КИШ = 0,92 – 0,95).

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.** 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 2 раза.

Также, 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. Это дает возможность повысить интенсивность подготовки горизонтов и уменьшить общее количество техники и персонала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Деформируемость и прочность массивов горных пород: монография / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, С.Н. Гапеев – Днепропетровск: РИК НГУ, 2008. – 224 с.
2. Механика горных пород / В.Г. Ильющенко, В.В. Пудак, А.А. Левшин, С.И. Егоров, Н.В. Бондаренко. – Донецк, 1994. – 366 с.
3. Оптимізація часу проведення гірських виробок при реконструкції шахт / Б.М. Андреев, В.В. Кононенко, Д.В. Бровко // Вісник Криворізького техніч-

ного університету: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: КТУ. – 2010. – Вип. 25. – С. 56–61.

4. Малахов Г.М. Управление горным давлением при разработке рудных месторождений Криворожского бассейна. – К.: Наук. думка, 1990. – 200 с.

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

6. Huei-Huang Lee Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 12 - Schroff Development Corporation, ISBN-10: 1585036048, 589p.

7. Евсеева Е.А. Задачи с решениями по сопротивлению материалов. – Минск: БНТУ, 2013. – 137 с.

8. Савостьянов А.В., Клочков В.Г. Управление состоянием массива горных пород. – К.: УМК ВО, 1992. – 276 с.

9. Литвинский Г. Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов: монография. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 207 с.

10. Кузнецов С.В. Общие закономерности и характерные особенности перераспределения напряжений в массиве горных пород при развитии выработанного пространства // Физ.-техн. пробл. разраб. полезн. ископаемых. – 1988. – № 6. – С. 18–31.

11. Внедрение смесительно-зарядной и доставочной техники для эмульсионного взрывчатого вещества «Украинит» на горнодобывающих предприятиях Украины / С.А. Зубко, В.В. Русских, А.В. Яворский, Е.А. Яворская // Геотехнічна механіка. – 2013. – Вип. 111. – С. 37–48.

## SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF TECHNOLOGY OF DRILLING LONG HORIZONTAL MINE WORKINGS USING HIGH-PERFORMANCE TUNNELING COMPLEXES

**B. Andreev, S. Sergeev**

State Higher Educational Establishment «Krivoy Rog National University»

vul. Vitali Matusevich, 11, Kryvyi Rih, 50027, Ukraine. E-mail: andreyev\_bn@mail.ru

**Purpose.** Special aspects of the mine workings construction in the mines of the Krivoy Rog Basin are considered. Major issues of low productivity of tunnelling equipment are identified and substantiated. Characteristic features of rock mass geomechanical state behind the horizontal working face are analyzed. **Methodology.** Optimum program is identified, which allows calculation of displacement, strain, stresses and internal forces in body caused by the static loads based on the finite element methods. **Results** are presented of computer simulation of natural field stress distribution for the Krivoy Rog Basin mines conditions. Component elements of non-uniform stressed state zone in the mine working peripheral mass are identified. Length is identified of extensional plastic strain zone behind the horizontal working face with due consideration to its individual parameters. **Practical value.** Explosive types used for construction of various purpose underground structures at the mining enterprises of the Krivoy Rog Basin and principles of emulsion explosive charges arrangement in blast holes are analyzed. **Conclusion.** Charge arrangement method is offered taking into account length of the stress-strain state zone behind the face, basic conditions of blast hole filling with the emulsion explosive are substantiated. References 11, figures 6.

**Key words:** mine; development; equipment; file; explosives.

### REFERENCES

1. Shashenko, A.N.(2008), *Deformiruemost i prochnost mas-sivov gornyh porod* [Deformability and strength of rocks]: [monografiya], Dnepropetrovsk, Ukraine.

2. Plyushenko, V.G. (1994), *Mehanika gornyh porod* [Rock mechanics], Donetsk, Ukraine.

3. Andreev, B.M., Kononenko, V.V., Brovko, D.V. (2010), "Optimization of time of mining in the reconstruction of mines", *Bulletin of Krivoy Rog technical University: Collection of scientific works*, vol. 25, pp. 56–61.

4. Malakhov, G. M. (1990), *Upravlenie gornim dovlnoem pri razrabotke rudnih mestorogdeniy* [The Management of mountain pressure in the development of ore deposits of the Krivoy Rog basin], Kyiv, Ukraine.

5. Esam, M.A. (2015), *Finite Element Simulations Using ANSYS*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

6. Lee, H. (2010), *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 12*, Schroff Development Corporation, Roeland Park, USA.

7. Evseeva, E.A. (2013), *Zadachi s resheniyami po soprotivle-niyu material* [Problems with solutions on strength of materials], Minsk, Belarus.

8. Litvinskiy, G.G. (2008), *Analiticheskaya teoriya prochnosti gornyh porod i massivov: monografiya* [Analytical theory of strength of rocks and arrays: monograph ], Donetsk, Ukraine.

9. Kartozija, B.A. (2003), *SHAhtnoe i podzemnoe stroitel'stvo: Ucheb dlja vuzov* [Mine and underground construction], Moscow, Russia.

10. Klishin, N.K., Sklepovich, K.Z., Kas'jan, S.I., Kizijarov, O.L. (2011), *Upravlenie sostojaniem massiva gornyh porod*, [State management of the array of rocks : proc. allowance], DonGTU, Alchevsk, Ukraine.

11. Zubko, S.A., Russkih, V.V., Javorskij, A.V. Javorskaja, E.A. (2013), "Implementation of mixing-charging technology and the delivery of an emulsion explosive "Ukrainit" at the mining enterprises of Ukraine", *Geotekhnichna mehanika*, iss. 111, pp. 37–48.

Стаття надійшла 30.08.2016.