

Для условий глубоких шахт можно рекомендовать вскрытие горизонтов с применением слепых вертикальных стволов. Строительство горизонта второй ступени возможно: с использованием одной точки приложения работ - от главного ствола; двух - от главного ствола и одного из фланговых; трех точек - от главного ствола и обоих фланговых или - от главного ствола, флангового и временного околотрекового; пяти точек - от главного ствола, двух фланговых и двух временных околотрековых. Разработаны математическая модель и программа с использованием библиотеки Swing языка Java, позволяющие выполнить исследования сочетаний темпов проведения комплекса выработок и значений эксплуатационных производительностей различного проходческого оборудования, обеспечивающих эти темпы, в совокупности позволяющих достигать минимальных затрат. Дальнейшие исследования в рамках данной проблемы целесообразно сосредоточить на изучении взаимного влияния различных факторов организации горного производства.

Список литературы

1. Агошков М.И., Малахов Г.М. Подземная разработка рудных месторождений. М., «Недра», 1966. - 663 с.
2. Титов В.Д. Основы проектирования глубоких железорудных шахт. М., «Недра», 1977, 229 с.
3. Криворізький залізорудний басейн. До 125-річчя з початку промислового видобутку залізних руд. / Ю.Г. Вілкул, Л.В. Дояр, М.І. Дядечкін, О.С. Колодезнев та ін. - Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2006. - 583 с.
4. Покровский Н.М. Технология строительства подземных сооружений и шахт. - М.: Недра, 1977. -400 с.
5. Смирняков В.В., Вихарев В.И., Очуров В.И. Технология строительства горных предприятий. - М.: Недра, 1989. -573 с.
6. <http://bergminer.blogspot.nl/2013/07/the-deepest-mines-in-the-world.html>
7. Лонг Ф., Мохиндра Д., Сикорд Р., Сазерленд Д., Свобода Д. Руководство для программиста на Java: 75 рекомендаций по написанию надежных и защищенных программ. Пер. с англ. - М.: Вильямс, 2014. - 256 с.
8. Хорстман, С., Корнелл Г. Java 2. Библиотека профессионала. Основы. Пер. с англ. под ред. В.В. Вейтмана. - М.: Вильямс, 2007. - 896 с.

Рукопись поступила в редакцию 24.03.16

УДК 622.271.4: 622.271.32-027.235

С.А. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРА ПО РУДЕ

Актуальность. Снижение текущих коэффициентов вскрыши можно достичь за счет уменьшения ширины рабочей площадки до минимальной ее величины. Нормальные условия для добычи полезного ископаемого требуют формирования рабочей зоны карьера рабочими площадками, включающими нормативные запасы скальной горной массы, готовые к выемке. Увеличение производительности карьера по руде приводит к увеличению ширины рабочих площадок. При этом объемы вскрыши возрастают, как за счет краткосрочного увеличения скорости горизонтального подвигания каждого вышележащего горизонта, так и за счет изменения режима горных работ. Невыполнение данного объема вскрыши при увеличении производительности по руде приведет к нарушению законов развития карьерного пространства и как следствие этого неплановому накоплению объемов вскрышных пород.

Методы исследований. При определении отставания вскрышных работ необходимо учитывать взаимосвязь ширины рабочей площадки и длины активного фронта горных работ, которые обеспечивают в карьере необходимый объем готовых к выемке запасов.

Постановка задач. Целью данной работы является усовершенствование методики определения отставания вскрышных работ, которая позволит определять необходимые объемы вскрышных работ при увеличении производительности карьера по руде, как в случае вовлечения в разработку одного, так и нескольких участков рабочей зоны карьера.

Результаты. Выведены формулы для определения текущих коэффициентов вскрыши при расширении рабочих площадок, а также объемов задолженности по вскрыше. Установлено, что при увеличении производительности карьера по руде, за счет вовлечения в разработку нескольких участков рабочего борта карьера характеризующимися различными коэффициентами вскрыши, скорость горизонтального подвигания, а также ширина рабочей площадки, должны определяться отдельно для каждого участка в зависимости от его производительности.

Выводы. Усовершенствована методика определения объемов вскрышных работ, обеспечивающих в карьере нормальные условия добычи полезного ископаемого при изменении его производительности. Применение методики возможно, как в случае вовлечения в разработку одного, так и нескольких участков рабочей зоны карьера.

Ключевые слова: железорудные карьеры, вскрышные работы, коэффициент вскрыши, рабочая площадка уступа, отставание вскрышных работ.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Нормальные условия для добычи полезного ископаемого требуют формирования рабочей зоны карьера рабочими площадками, включающими нормативные запасы скальной горной массы, готовые к выемке [1]. Поэтому для добычи руды требуется извлечение больших объемов пустых пород, что характерно для крутопадающих залежей железорудных месторождений.

Затраты на извлечение пустой породы входят в суммарные затраты на разработку месторождений, поэтому считают, что необходимо по возможности, как можно меньше извлекать пустой породы [2]. Однако, с другой стороны, уменьшение объемов пустых пород и стремление снизить затраты на производство концентрата за счет сокращения объемов пустых пород приводит к отклонению от норм технологического проектирования и как следствие этого появлению задолженности по вскрышным работам.

Исследованиями установлено, что при увеличении производительности карьера по руде для обеспечения готовых к выемке запасов необходимо увеличивать ширину рабочей площадки. А это, как известно, приводит уменьшению угла откоса рабочего борта карьера и, как следствие, к увеличению коэффициентов вскрыши.

Кроме этого при расширении рабочих площадок, обеспечивающих создание в карьере нормативных запасов горной массы готовой к выемке, за счет краткосрочного увеличения скорости горизонтального подвигания каждого вышележащего горизонта по отношению к нижележащему, необходимо извлечь дополнительный объем вскрышных работ.

Невыполнение данного объема при увеличении производительности по руде приведет к нарушению законов развития карьерного пространства и как следствие этого неплановому накоплению объемов вскрышных пород.

Этот процесс принято называть отставанием вскрышных работ от проектного положения [3].

Анализ исследований и публикаций. Вопросы уменьшения объемов вскрышных работ занимались известные всему миру ученые: доктора наук А.И. Арсентьев [4], М.Г. Новожилов [5], В.В. Ржевский [6] и в настоящее время в Украине занимаются их ученики и последователи доктора наук В.Г. Близнюков [7,8], М.С. Четверик и др. Они создали методы управления режимом горных работ, позволяющие снижать объемы вскрышных работ при нормальной работе карьеров [9]. Для определения отставания вскрышных работ разработана методика [10] определения объемов вскрышных работ, обеспечивающих в карьере нормальные условия для добычи полезного ископаемого. Однако методика не учитывает возможность увеличения производительности карьера по руде за счет вовлечения в разработку нескольких участков рабочей зоны карьера. Поэтому область применения методики ограничена.

Постановка задач. Цель настоящей работы - усовершенствовать методику определения отставания вскрышных работ, которая позволит определять необходимые объемы вскрышных работ при увеличении производительности карьера по руде, как в случае вовлечения в разработку одного, так и нескольких участков рабочей зоны карьера.

Изложение материалов и результаты. Увеличение производительности карьера по руде возможно, как за счет, увеличения ее до максимально возможного значения, путем изменения угла откоса рабочего борта карьера, на одном участке рабочей зоны, так и за счет вовлечения в разработку нескольких участков, которые характеризуются различными коэффициентами вскрыши.

В этом случае для работы всего карьера с минимальными текущими коэффициентами вскрыши увеличивать производительность путем изменения угла откоса рабочего борта карьера необходимо, в первую очередь, на участке с минимальными коэффициентами вскрыши (I участок). После того, как производительность первого участка достигнет максимально возможного значения или коэффициенты вскрыши данного участка сравняются с коэффициентами вскрыши другого участка, в работу вовлекается второй участок.

Очевидно, что ширина рабочей площадки и скорость горизонтального подвигания первого и второго участков будут отличаться. Скорость горизонтального подвигания первого участка будет максимальной (линия 4 рис. 1), а второго участка обеспечивать необходимое его подвигание для достижения заданного значения производительности карьера по руде (линия 5 рис. 1). В этом случае реконструкция борта карьера на втором участке может и не потребоваться.

Однако если определять объемы отставания и текущие коэффициенты вскрыши по базовой методике при увеличении фронта горных работ за счет вовлечения в отработку нескольких участков рабочей зоны расширение рабочих площадок необходимо будет осуществлять на всех участках. Кроме этого скорость горизонтального подвигания на всех участках, вовлекаемых в работу, будет одинакова. Это приведет к значительному увеличению коэффициентов вскрыши.

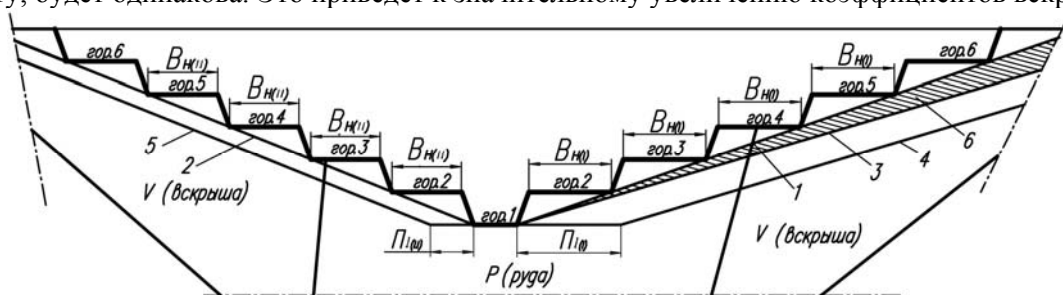


Рис. 1. Схема для определения объемов вскрышных работ при вовлечении в разработку нескольких участков рабочей зоны карьера: 1 – положение рабочего борта карьера на I участке рабочей зоны; 2 – положение рабочего борта карьера на II участке рабочей зоны; 3 – положение рабочего борта карьера на I участке рабочей зоны после расширения рабочих площадок; 4 – положение рабочего борта на I участке рабочей зоны, обеспечивающее заданную производительность карьера по руде; 5 – положение рабочего борта на II участке рабочей зоны, обеспечивающее заданную производительность карьера по руде; 6 – объемы выемки руды и вскрышных пород при расширении рабочих площадок

В случае вовлечения в разработку нескольких участков рабочей зоны, производительности карьера по руде определится по формуле:

$$A'_p = \sum_{k=1}^K A_{(k)}^{yч}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (1)$$

где $A_{(k)}^{yч}$ – производительность по руде k -го участка рабочей зоны карьера, $\text{м}^3/\text{год}$; k – индекс участка рабочей зоны карьера; K – количество участков рабочей зоны карьере одновременно вовлекаемых в разработку, шт.

Исследованиями было установлено, что производительность карьера должна определяться с учетом взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины активного фронта горных работ, которые обеспечивают в карьере необходимый объем готовых к выемке запасов. Из этого следует, что ширина рабочей площадки должна определяться исходя из ее взаимосвязи с длиной активного фронта горных работ обеспечивающих в карьере объем готовых к выемке запасов соответствующий заданной производительности с учетом ее увеличения.

Таким образом при увеличении годовой производительности карьера по руде с величины A_p до A'_p нормальная ширина рабочей площадки на каждом горизонте k -го участка рабочей зоны увеличится с величины $B_{H(k)}$ до $B'_{H(k)}$.

В этом случае ширина рабочей площадки $B'_{H(k)}$, а также ее увеличение $\Delta B_{H(k)}$ на различных участках рабочей зоны определяется по нормативам в зависимости от производительности участка $A_{(k)}^{yч}$ и длины фронта на данном участке $L'_{p(k)}$.

Текущий коэффициент вскрыши определяется по формуле, $\text{м}^3/\text{м}^3$

$$n_t = \frac{A_v}{A_p} = \frac{L_v \cdot h_y \cdot l_v}{L_p \cdot h_y \cdot l_p}, \quad (2)$$

где l_v и l_p – скорость горизонтального подвигания вскрышных и рудных уступов, $\text{м}/\text{год}$.

При принятых ширине рабочей площадки, высоте уступов, производительности по руде и пустым породам, угол откоса рабочего борта карьера будет постоянным, а текущий коэффициент вскрыши определится соотношением активных фронтов работ по пустым породам L_v и руде L_p , $\text{м}^3/\text{м}^3$

$$n_t = \frac{L_v}{L_p}. \quad (3)$$

Необходимое подвигание i -го горизонта обеспечивающее расширения рабочих площадок до величины $B'_{H(k)}$ определяется по формуле, м

$$\Pi_{(ki)} = (i-1) \cdot \Delta B_{H(k)} + \sum_{j=2}^i \Pi_{(kj)}^{сущ} \quad (4)$$

где $\Pi_{(kj)}^{сущ}$ - горизонтальное подвигание j -го горизонта k -го участка за счет увеличения существующей ширины рабочей площадки до нормативного значения $B_{H(k)}$, м;

$$\Pi_{(kj)}^{сущ} = B_{H(k)} - B_{сущ(k)}, \text{ м.} \quad (5)$$

Горные работы на каждом уступе останавливаются, когда фронт работ подходит к проектным контурам карьера. Поэтому для правильного определения объемов горных работ на каждом i -ом горизонте необходимо, чтобы соблюдалось условие

$$\Pi_{(ki)} < \Pi_{(ki)}^{\max} \quad (6)$$

где $\Pi_{(ki)}^{\max}$ - максимально возможное подвигание фронта горных работ на i -м горизонте k -го участка, которое ограничивается проектными контурами карьера, м.

Если условие (6) не соблюдается, подвигание фронта горных работ на i -м горизонте принимается равным

$$\Pi_{(ki)} = \Pi_{(ki)}^{\max} \quad (7)$$

Кроме этого для правильного определения объемов горных работ на рудных горизонтах необходимо, чтобы соблюдалось условие:

$$\Pi_{(ki)} < \Pi_{p(ki)}^{\max} \quad (8)$$

Если условие соблюдается, значит горизонтальное подвигание фронта горных работ по руде $\Pi_{p(ki)}$ на i -м горизонте составит

$$\Pi_{p(ki)} = \Pi_{(ki)} \quad (9)$$

Если условие (8) не соблюдается значит фронт горных работ i -го горизонта выходит за контуры рудного тела, и подвигание по длине рудного фронта необходимо осуществлять как по полезному ископаемому так и по вскрышным породам. Тогда

$$\Pi_{p(ki)} = \Pi_{p(ki)}^{\max} \quad (10)$$

$$\Pi_{pv(ki)} = \Pi_{(ki)} - \Pi_{p(ki)}^{\max} \quad (11)$$

где $\Pi_{pv(ki)}$ - подвигание фронта горных работ по вскрышным породам на участке рудного фронта на i -м горизонте k -го участка, м.

Дополнительный объем добычи руды при расширении рабочих площадок на k -м участке определяется по формуле, м³

$$\Delta A_{pB(k)} = \sum_{i=2}^I (\Pi_{p(ki)} \cdot L_{p(ki)} \cdot h_{y(ki)}) \quad (12)$$

где $L_{p(ki)}$ - длина активного рудного фронта на i -м горизонте при ширине рабочей площадки $B_{H(k)}$, м; I - количество рабочих уступов в карьере.

Скорость перемещения рабочего борта карьера в горизонтальном направлении на k -м участке рабочей зоны, обеспечивающая заданное увеличение производительности будет равна, м/год

$$l'_{p(k)} = \frac{A_{(k)}^{yч} - \Delta A_{pB(k)}}{L'_{p(k)} \cdot h_{y(k)}},$$

где $L'_{p(k)}$ - длина активного рудного фронта в карьере при ширине рабочей площадки $B'_{H(k)}$, м.

Дополнительный объем вскрышных работ $\Delta A_{vB(k)}$ при расширении рабочих площадок до $B'_{H(k)}$ определяется по выражению, м³/год

$$\Delta A_{vB(k)} = \sum_{i=2}^I (\Pi_{(ki)} \cdot L_{v(ki)} \cdot h_{y(ki)}) + \sum_{i=2}^I (\Pi_{pv(ki)} \cdot L_{p(ki)} \cdot h_{y(ki)}) \quad (13)$$

Для достижения заданной производительности по руде, с учетом ее увеличения, необходимо чтобы на рабочих горизонтах сохранялись рабочие площадки нормальной ширины. Поэтому скорость горизонтального подвигания добычных уступов $l'_{p(k)}$ должна быть равна скорости горизонтального подвигания вскрышных уступов $l'_{v(k)}$. Из этого следует, что после реконструкции борта карьера для обеспечения заданной производительности по руде A'_p фронт горных работ i -го горизонта k -го участка за год должен быть подвинут на величину $\Pi_{l(ki)}$, которая определяется скоростью горизонтального подвигания, м

$$\Pi_{l(ki)} = l'_{v(k)} \cdot t \quad (14)$$

При этом должно соблюдаться условие: суммарное годовое подвигание фронта горных работ i -го горизонта должно быть меньше либо равно максимально возможному подвиганию фронта горных работ на этом горизонте

$$\Pi_{(ki)} + \Pi_{l(ki)} \leq \Pi_{(ki)}^{\max} \quad (15)$$

Если условие (15) не соблюдается, значит на данном горизонте горные работы выходят на проектные контуры карьера, а необходимое подвигание фронта горных работ обеспечивающее заданную производительность карьера после расширения рабочих площадок на i -м горизонте $\Pi_{l(ki)}$ определяется исходя из условия (6).

Если условие (6) соблюдается, то $\Pi_{l(ki)}$ определяется по формуле, м

$$\Pi_{l(ki)} = \Pi_{(ki)}^{\max} - \Pi_{(ki)} \quad (16)$$

Если условие (6) не соблюдается, то $\Pi_{l(ki)}$ принимаем равным 0

$$\Pi_{l(ki)} = 0 \quad (17)$$

Суммарный объем вскрышных работ, который необходимо удалить из карьера для обеспечения заданной производительности карьера по руде A'_p в зависимости от сложившегося состояния горных работ в карьере и принятой технологии разработки определяется по формуле, м³/год

$$\Delta A_{v(k)} = \Delta A_{vB(k)} + A_{vl(k)} = \sum_{i=2}^I (\Pi_{(ki)} L_{v(ki)} h_{y(ki)}) + \sum_{i=2}^I (\Pi_{pv(ki)} L_{p(ki)} h_{y(ki)}) + L'_{v(ki)} h_{y(ki)} \Pi_{l(ki)}, \quad (18)$$

$$A_{vl(k)} = L'_{v(ki)} \cdot h_{y(ki)} \cdot \Pi_{l(ki)}, \quad (19)$$

где $A_{vl(k)}$ - объем вскрышных работ при параллельном перемещении борта k -го участка рабочей зоны, м³/год; $L'_{v(i)}$ - протяженность фронта вскрышных работ на k -м участке рабочей зоны при ширине рабочей площадки $B'_{H(k)}$, м.

Тогда увеличение ширины рабочих площадок произойдет с коэффициентом вскрыши, м³/м³

$$\Delta n = \frac{\sum_{k=li=2}^K \sum_{i=2}^I (\Pi_{(ki)} \cdot L_{v(ki)} \cdot h_{y(ki)}) + \sum_{k=1}^K \sum_{i=2}^I (\Pi_{pv(ik)} \cdot L_{p(ik)} \cdot h_{y(ik)})}{\sum_{k=li=2}^K \sum_{i=2}^I (\Pi_{p(ki)} \cdot L_{p(ki)} \cdot h_{y(ki)})}, \quad (20)$$

а текущий коэффициент вскрыши, учитывающий объемы руды и вскрышных пород извлекаемые при расширении рабочих площадок станет равным, м³/м³

$$n_t = \frac{\sum_{k=li=2}^K \sum_{i=2}^I (\Pi_{(ki)} \cdot L_{v(ki)} \cdot h_{y(ki)}) + \sum_{k=li=2}^K \sum_{i=2}^I (\Pi_{pv(ki)} \cdot L_{p(ki)} \cdot h_{y(ki)}) + \sum_{k=1}^K L'_{v(ki)} \cdot h_{y(ki)} \cdot \Pi_{l(ki)}}{A'_p}, \quad (21)$$

Объем задолженности по вскрыше составит, м³

$$Q_3 = \sum_{k=1}^K \Delta A_{vB(k)} - \frac{L'_{v(k)}}{L'_{p(k)}} \Delta A_{pB(k)}, \quad (22)$$

На рис. 2 приведены результаты сравнения усовершенствованной методики с базовой. Из рисунка видно, что в случае, когда увеличение производительности карьера по руде происхо-

дит только за счет изменения угла откоса рабочего борта карьера на одном участке рабочей зоны ($A_p = 3; 3,25; 3,5$), результаты расчетов по базовой и усовершенствованной методике полностью совпадают. В том случае если рост производительности карьера происходит еще и за счет вовлечения в разработку нескольких участков рабочей зоны результаты расчетов по базовой методике дают ошибку (рис. 2 $A_p = 3,75; 4; 4,25$). Данная ошибка составляет от 11 до 24 %.

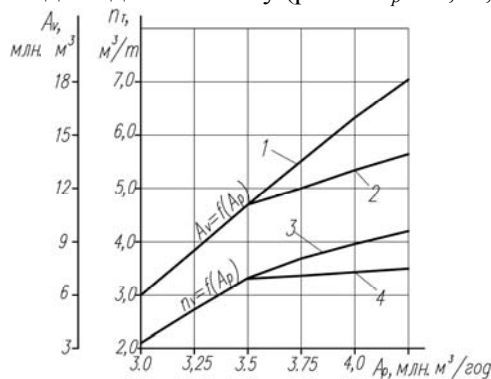


Рис. 2. Изменение текущих коэффициентов вскрыши и объемов вскрышных пород при увеличении производительности карьера по руде: 1, 3 – по существующей методике; 2, 4 – по усовершенствованной методике

Выводы. В результате выполненных исследований была усовершенствована методика определения объемов вскрышных работ, обеспечивающих в карьере нормальные условия добычи полезного ископаемого при изменении его производительности. Применение методики возможно, как в случае вовлечения в разработку одного, так и нескольких участков рабочей зоны карьера.

Установлено, что при увеличении производительности карьера по руде, за счет вовлечения в разработку нескольких участков рабочего борта карьера характеризующимися различными коэффициентами вскрыши, скорость горизонтального подвигания, а также ширина рабочей площадки, должны определяться отдельно для каждого участка в зависимости от его производительности.

Список литературы

1. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. – Міністерство промислової політики України, м. Київ, 2007. – 279 с.
2. Ракишев Б.Р. Проектирование карьеров: Учебное пособие / Б.Р. Ракишев – Алматы: КазНТУ, 2013. – 298с.
3. Ковальчук В.А. Исследование взаимосвязи отставания вскрышных работ и производительности карьера / В.А.Ковальчук // Разработка рудных месторождений.- Кривой Рог, 1999.- Вып. 67. – С. 3-7.
4. Арсентьев А.И. Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений / А.И.Арсентьев, Г.А.Холодняков. – М.: Недра, 1994. – 336 с.
5. Новожилов М.Г. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Ч.2 / М.Г.Новожилов, В.С.Хохряков, Г.Д.Пчелкин, В.С.Эскин. – Изд-во Недра, 1971. – 552с.
6. Ржевский В.В. Научные основы проектирования карьеров / В.В.Ржевский, М.Г.Новожилов, Б.П.Юматов. – М.: Недра, 1971. – 600 с.
7. Близиюков В.Г. Один из путей сохранения нормальной ширины рабочей площадки при уменьшении объемов вскрышных работ в карьере / В.Г.Близиюков, С.Ю.Оводенко // Разработка рудных месторождений.- Изд-во: «Техника», 1988.- №45. – С. 11-14.
8. Близиюков В.Г. Планирование режима вскрышных работ с учетом производительности карьера по полезному ископаемому / В.Г.Близиюков, А.В.Савицкий, О.Ю.Близиюкова // Горный журнал, 2013. - №5. – С. 4-8.
9. Трубецкой К.Н. Проектирование карьеров / К.Н.Трубецкой, Г.Л.Краснянский, В.В.Хронин. - М.:Высшая школа, 2009. - 694с.
10. Вилкул Ю.Г. О проблеме отставания вскрышных работ в железорудных карьерах / Ю.Г.Вилкул, С.А.Луценко, О.Ю.Близиюкова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск, 2013. - №3. - С. 92-96.

Рукопись поступила в редакцию 24.03.16

УДК 622.272.4: 622.83

Б.Н. АНДРЕЕВ, д-р техн. наук, проф., С.С. СЕРГЕЕВ, аспирант
Криворожский национальный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ПРОХОДКЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИМИ ЗАХОДКАМИ НА ШАХТАХ КРИВОРОЖСКОГО БАССЕЙНА

Рассмотрены особенности сооружения горных выработок на шахтах Криворожского бассейна. Выявлены и обоснованы основные проблемы низкой производительности проходческого оборудования. Приведены результаты изучения опыта производителей, занимающихся совершенствованием горнопроходческого оборудования, нацеленного на повышение уровня автоматизации и компьютеризации проходческого процесса основных этапов строитель-