

Стратегия развития горных работ карьеров при изменении потребности в железорудном концентрате

V. G. Bliznyukov /Dr. Sci. (Tech.),
S. A. Lutsenko /Cand. Sci. (Tech.)/

Kryvyi Rih National University

Strategy for mines operation development along with iron ore concentrate demand variation

Цель. Обосновать стратегию развития горных работ горнодобывающих предприятий в условиях изменяющейся потребности в железорудной продукции, которая бы учитывала необходимость интенсификации производства для покрытия потребности рынка в период роста спроса, а также позволяла избежать дополнительных расходов, связанных с хранением нереализованной готовой продукции на складе – в период падения спроса.

Методика. В основу стратегии развития горных работ положена идея: производительность горного предприятия должна корректироваться в соответствии с изменяющимися внешними условиями на протяжении всего срока его эксплуатации. Реализация этой идеи осуществлялась за счет разработки методики перераспределения производительности группы карьеров, входящих в состав горно-обогажительного комбината, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде при изменении потребности в железорудной продукции.

Результаты. Разработана методика определения производительности группы карьеров, входящих в состав горно-обогажительного комбината, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде при изменении потребности в железорудной продукции.

Научная новизна. Предложенная методика позволяет адаптировать горные производства к меняющимся условиям рынка и при этом, в отличие от существующих методик, учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности карьера по руде.

Практическая значимость. Предложенная методика определения производительности группы карьеров может использоваться на комбинатах при составлении годовой программы развития горных работ при изменении потребности в железорудной продукции. Доказано, что лучшим распределением производительности карьеров по руде в стратегии развития горных работ Северного ГОК является вариант, когда Первомайский карьер работает с максимально возможной производительностью, а Анновский карьер обеспечивает производительность в 9 млн т/год, которая необходима для выполнения стратегии комбината. (Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.)

Ключевые слова: открытые горные работы, группа карьеров, производительность карьеров по руде, режим горных работ, стратегия развития горных работ.

Постановка проблемы. Основными производителями железорудной товарной продукции в Украине являются горно-обогажительные комбинаты (ГОК). Они осуществляют добычу бедных железных руд и их передел до товарной продукции. Для каждого комбината проектами определена стратегия производства различных видов товарной продукции, а следовательно, и развития горных работ на длительный период времени – до 20 лет и более. Для реализации этой стратегии построены карьеры и фабрики с развитой инфраструктурой, обеспечивающей решение производственных задач и социальных вопросов.

Основными показателями открытых горных работ, которые относятся к стратегическим проектным решениям [1] являются: режим горных работ, характеризующийся коэффициентами вскрыши; производительность карьера по руде и перспективные контуры карьера. Они определяют тип и количество горного оборудования, объем горнокапитальных работ, объем строительства промышленных зданий и сооружений, количество трудящихся, т. е. определяют объем инвестиций, эксплуатационных расходов и доходов от реализации товарной продукции. Следует отметить, что намеченные в первоначальных проектах объемы выемки пустых пород и

добычи полезных ископаемых менялись как в сторону увеличения, так и уменьшения.

Одной из важнейших задач проектирования карьеров является принятие технических решений, обеспечивающих стабильную, бесперебойную работу карьера и горно-обогатительного комбината в целом по добыче полезного ископаемого заданного качества и с минимальными затратами [2]. При этом срок службы горнодобывающих предприятий в среднем составляет 40 и более лет. В течение такого времени экономическая ситуация постоянно изменяется, периодически происходят спады и подъемы экономики, случаются экономические кризисы, что оказывает большое влияние на работу горно-обогатительного комбината в целом и отдельно взятого карьера в частности. За это время происходят существенные изменения в технике, технологии, экономике, условиях разработки, связанных с углублением горных работ. Кроме этого, на отечественных и зарубежных рынках минерального сырья наблюдается существенное колебание цен и спроса на продукцию горнодобывающих предприятий руд черных металлов. Предусмотреть эти колебания в долгосрочной перспективе практически невозможно, потому что они в основном зависят от состояния мировой экономики, политической ситуации в стране и т. д. Следовательно, производительность горного предприятия должна корректироваться в соответствии с изменяющимися внешними условиями на протяжении всего срока его эксплуатации [3].

В условиях рыночной среды возникает необходимость в адаптации горных производств к меняющимся условиям рынка. Примеры такой адаптации наглядно показывают, что действующие стратегии развития горных работ, при изменении спроса на товарную продукцию, не учитывают взаимосвязь режима горных работ и производительности карьера по руде [4]. Так, увеличение потребности в полезном ископаемом в большинстве случаев приводит к увеличению объемов производства, при этом коэффициенты вскрыши не изменяются, снижение спроса – к уменьшению объемов добычи полезного ископаемого, простоям оборудования, зданий и сооружений, сокращению трудящихся, снижению коэффициента использования оборудования во времени. При этом для снижения себестоимости товарной продукции уменьшаются коэффициенты вскрыши. Следствием этого, является наличие на предприятиях отставания по вскрышным работам, возникновение внеплановых временно нерабочих бортов за счет нарушения закона соразмерного ведения работ и развития карьерного пространства, а также формиро-

вание временно нерабочих бортов в добычной зоне, что является недопустимым. Кроме этого, если в состав горно-обогатительного комбината входит несколько карьеров, то производительность каждого из них необходимо определять еще и с учетом наибольшей эффективности работы ГОК.

Цель. В связи с вышеизложенным была поставлена цель – разработать методику определения производительности группы карьеров, входящих в состав горно-обогатительного комбината, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде при изменении потребности в железорудной продукции.

Изложение основного материала. Для регулирования производительности карьера по руде при уменьшении или увеличении потребности в полезном ископаемом необходимо в первую очередь определить максимальную производительность карьера по горным возможностям, а также по экономическим возможностям, т. е. по наличию инвестиций для увеличения мощности карьера. В этом случае для каждого карьера определяется область возможных вариантов работы карьера, которая ограничивается двумя крайними вариантами [5; 6]:

- работа карьера с минимальными коэффициентами вскрыши и меньшей производительностью карьера по руде.
- работа с максимальной производительностью по руде и большим коэффициентом вскрыши.

При изменении потребности в полезном ископаемом по любой из причин определяющим фактором в изменении развития горных работ выступает заданная производительность предприятия по товарной продукции. Поэтому в пределах возможных вариантов производительности карьера по руде и режима горных работ определяется лучший вариант их сочетания за весь или длительный период.

Одним из основных критериев комплексной оценки режима горных работ и производительности карьера за длительный период времени является прибыль предприятия. Однако практика работы карьеров показывает, что экономические показатели их работы изменяются во времени в широких пределах. Изменение этих показателей зависит от многих факторов, трудно подлежащих прогнозированию. Отсюда следует, что невозможно получить точную сравнительную оценку вариантов работы карьера по экономическим критериям за длительный период. В свою очередь, основные технологические показатели полезного ископаемого, которые определяют экономические показатели раз-

работки месторождения (выход концентрата, содержание железа, мощность и форма залежи, ее расположение), определены природой и тысячелетиями остаются неизменными. Поэтому оценивать варианты работы карьера лучше по технологическому критерию.

Сравнительную оценку вариантов целесообразно производить по технологическому показателю, идентичному прибыли [7]:

- при добыче товарных руд - по разнице между объемами горной массы и производительностью по руде, приведенной к началу расчетного периода:

$$\sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+E)^t} \cdot [(\psi \cdot A_{\Gamma t}) - A_{pi}], \text{ т;} \quad (1)$$

- при добыче руды, требующей обогащения, по разнице между производительностью по горной массе и производительностью железорудного концентрата:

$$\sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+E)^t} \cdot [(\delta_p \cdot A_{pt} + \delta_v \cdot A_{pt} \cdot n_t) - A_{ki}], \text{ т;} \quad (2)$$

где A_p и A_k - производительность карьера по товарной руде и железорудному концентрату, т/год; A_{Γ} - производительность карьера по горной массе, т/год; $\psi = \frac{z}{c}$ - коэффициент приведения физических объемов горной массы к объемам руды по ее цене c ; z - затраты на выемку горной массы, грн/т; $\delta_p = \frac{a}{u_k}$ - коэффициент приведения физических объемов руды к концентрату по его цене; $\delta_v = \frac{b}{u_k}$ - коэффициент приведения физических объемов вскрышных пород к объемам концентрата по его цене; $a = a_d + a_{\Gamma}$ - себестоимость добычи (a_d) и передела (a_{Γ}) одной тонны руды до концентрата без затрат на вскрышные работы, грн/т; u_k - цена концентрата, грн/т; T - продолжительность периода оценки, лет.

Лучшему варианту соответствует максимальное абсолютное значение разницы между годовыми объемами горной массы и товарной продукции горного предприятия, приведенными к одному моменту оценки за весь или длительный период времени. То есть:

$$K = \left| \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+E)^t} \cdot [(\psi \cdot A_{\Gamma t}) - A_{pi}] \right| \rightarrow \max, \text{ т} \quad (3)$$

или

$$K = \left| \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+E)^t} \cdot [(\delta_p \cdot A_{pt} + \delta_v \cdot A_{pt} \cdot n_t) - A_{ki}] \right| \rightarrow \max, \text{ т.} \quad (4)$$

Описанным методом определяется лучшее сочетание режима горных работ и производи-

тельности отдельно взятого карьера при условии неограниченных потребности в железорудном сырье и возможности в инвестициях.

В Украине большая часть месторождений бедных железных руд, требующих обогащения, сосредоточена в Криворожском бассейне и разрабатывается открытым способом. По Конституции недра принадлежат Народу. Право собственности на недра осуществляется через центральные и местные органы власти. Поэтому цель государства: получить больше прибыли: в виде налогов, от эксплуатации сданных в пользование месторождений. В случае разработки месторождения одним карьером интересы владельца и государства совпадают: чем больше первый получит прибыли, тем больше второй получит налогов. Если в состав горно-обогатительного комбината входит несколько карьеров, то производительность каждого из них следует определять, исходя из наибольшей эффективности работы ГОК. Однако в этом случае экономические интересы руководителей отдельных карьеров не совпадают с интересами их владельцев и, тем более, с интересами государства.

Следует отметить, что потребность в товарной продукции ГОК неоднократно менялась за прошлые годы, и будет меняться в будущем. Поэтому стратегия развития горных работ любого комбината и в целом Кривбасса будет изменяться. В связи с этим стратегия развития горных работ должна учитывать возможность и механизмы корректировки производительности по руде при изменении потребности в товарной продукции как на уровне отдельного горного предприятия или группы предприятия одного владельца с целью получения максимума прибыли, так и на уровне государства с целью получения максимума налога от эксплуатации недр.

Для примера приведем простейший случай разработки месторождения группой карьеров: Первомайский и Анновский карьеры в составе Северного ГОК добывают железистые кварциты для их переработки на комбинате в железорудный концентрат. Учитывая горные и экономические возможности комбината и потребность в железорудном концентрате на внешнем и внутреннем рынках, проектными институтами в 2008 г. совместно с комбинатом была установлена стратегия добычи руды на ближайшие 30 лет:

- для Первомайского карьера - 23-30 млн т/год;

- для Анновского карьера - 10-12 млн т/год.

Объемы вскрышных работ, обеспечивающие достижение этой производительности, составляют:

ГОРНОРУДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

- для Первомайского карьера - 17,71-21,6 млн м³/год ($n = 0,76-0,78 \text{ м}^3/\text{т}$);

- для Анновского карьера - 15,8-16,5 млн м³/год ($n = 1,55-1,57 \text{ м}^3/\text{т}$).

Потребности в железорудном концентрате могут измениться в меньшую или большую сторону. Поэтому в рамках стратегии добычи руды и производства концентрата, определенной проектными институтами, исследовали изменение показателя (4) при вынужденном изменении объемов производства концентрата в ту и иную сторону для Анновского и Первомайского карьеров. При этом первоначально был рассмотрен вопрос достижения заданного уровня производительности по руде с учетом сложившегося состояния горных работ в карьерах, а также изменение режима горных работ в зависимости от изменения производительности по руде [6]. Результаты расчетов представлены в табл. 1. Кроме этого, результаты расчетов представлены графически на рис. 1.

Точки В и Г на рис. 1 характеризуют технологические и экономические показатели работы карьеров с производительностью по руде, установленной стратегией развития комбината:

- для Первомайского карьера - $A_{П} = 23 \text{ млн м}^3/\text{год}$, $n_{П} = 0,72 \text{ м}^3/\text{т}$, $\gamma_{П} = 0,42$;

- для Анновского карьера - $A_{А} = 10 \text{ млн м}^3/\text{год}$, $n_{А} = 1,83 \text{ м}^3/\text{т}$, $\gamma_{А} = 0,38$.

Из рис. 1 видно, что сравнение результатов работы карьеров с возможными вариантами сочетания режима горных работ и производительности по руде по экономическим показателям и по рекомендуемому технологическому критерию идентичны.

Анализ рис. 1 показывает, что с увеличением производительности как Первомайского так и Анновского карьеров (линия 1 и 2), несмотря на увеличение коэффициентов вскрыши, растет прибыль от производства концентрата. Наклон кривых показывает, что чем больше угол накло-

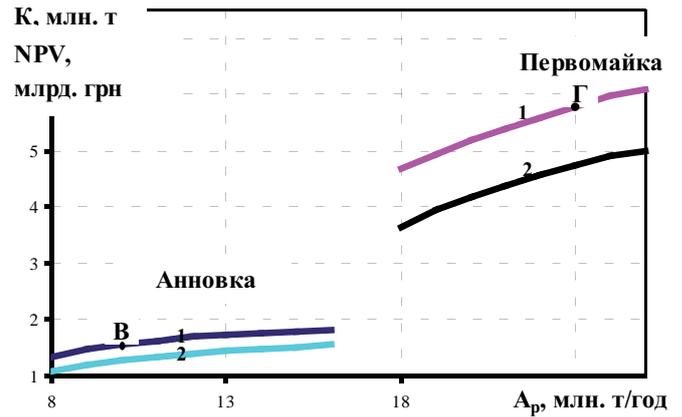


Рис. 1. Изменение технологического (K) и экономического (NPV) показателей комплексной оценки режима горных работ и производительности в зависимости от изменения потребности в руде карьеров СЕВГОК:

$$1 - K = f(A_p); 2 - NPV = f(A_p)$$

на, тем больше комбинат получит прибыли от одинакового увеличения производительности карьера. Наклон линий 1 и 2 разный. Это значит, что одинаковый прирост производительности по руде Анновского и Первомайского карьеров обеспечит неодинаковый прирост чистого денежного потока комбината.

Для наглядности графически представим зависимость прироста чистого денежного потока (NPV) от прироста производительности (ΔA_p) Анновского и Первомайского карьеров (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что работа Первомайского карьера с любым сочетанием режима горных работ и производительности карьера лучше оптимального сочетания этих параметров Анновского карьера.

Прирост производительности Первомайского карьера на 1 млн т/год приведет к увеличению прироста чистого денежного потока на 200 % больше по сравнению с приростом этого показателя в Анновском карьере. В то же время

Таблица 1

Исходные данные и результаты расчетов доходов Северного ГОК и государства

Показатель	Первомайский карьер					Анновский карьер				
	A_{p1}	A_{p2}	$A_{p,стр}$	A_{p4}	A_{p5}	A_{p1}	A_{p2}	$A_{p,стр}$	A_{p4}	A_{p5}
1. Объем добычи руды, млн т/год (A_p)	21	22	23	24	25	8	9	10	11	12
2. Выход концентрата, доли ед. (γ)	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
3. Объем производства концентрата, млн т/год (A_k)	8,8	9,2	9,7	10,1	10,5	3	3,4	3,8	4,2	4,6
4. Коэффициент вскрыши, м ³ /т	0,65	0,69	0,72	0,75	0,81	1,65	1,71	1,83	1,95	2,06
5. Абсолютное значение разницы между объемами горной массы и концентрата, млн. т (K)	5,37	5,57	5,77	5,97	6,12	1,33	1,46	1,56	1,63	1,7
6. Годовой чистый денежный поток, млрд, грн (NPV)	4,41	4,57	4,74	4,91	5,02	1,1	1,21	1,28	1,34	1,4
7. Доход государства, млрд грн	0,70	0,73	0,76	0,78	0,80	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22

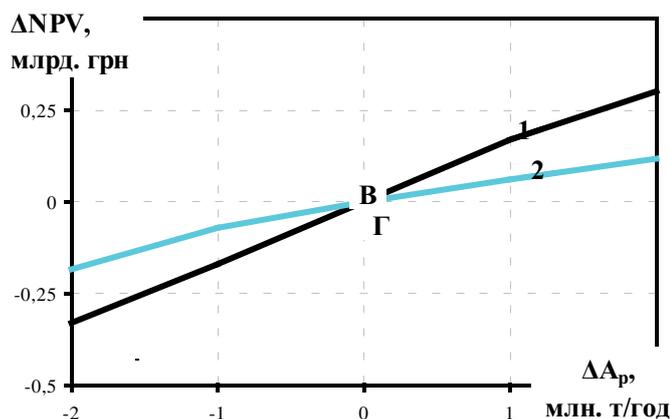


Рис. 2. Изменение годового чистого денежного потока комбината ΔNPV в зависимости от изменения производительности A_p карьеров по руде: 1 – Первомайского; 2 – Анновского

потери чистого дохода при уменьшении производительности карьера по руде на 1 млн т/год в Первомайском карьере также будут больше. Поэтому в случае рассмотрения вопроса об уменьшении проектной производительности комбината по сырой руде (менее 33 млн т/год), в первую очередь необходимо уменьшать производительность Анновского карьера. А в случае увеличения проектной производительности комбината по сырой руде (более 33 млн т/год), необходимо увеличивать производительность Первомайского карьера до размеров максимально возможной по горным условиям, а затем, если этого будет недостаточно, увеличивать производительность Анновского карьера.

В случае перераспределения производительности карьеров по руде без изменения общей стратегии производства товарной продукции необходимо учитывать то, что изменение чистого дохода происходит неравномерно изменению производительности по руде: чистый доход изменяется в меньшей степени при увеличении производительности карьера по руде, чем при ее уменьшении.

При увеличении производительности по руде Первомайского карьера на 1 млн т/год прирост чистого денежного потока составит 155 млн грн. При этом снижение производительности по руде Анновского карьера на 1 млн т/год приведет к потере чистого денежного потока на данном карьере на 56 млн грн. Разница между приростом и потерями чистого денежного потока за счет перераспределения объемов добычи руды на 1 млн т/год в целом по комбинату составит 177 %; на 2 млн т/год – 63 %; на 3 млн т/год – 19 %.

Из вышесказанного следует, что проектную производительность комбината по сырой руде в размере 33 млн т/год лучше всего выполнить за счет увеличения производительности Пер-

вомайского карьера на 1 млн т/год и снижения производительности по руде на ту же величину на Анновском карьере. Тогда объемы добычи руды по карьерам распределяться следующим образом: Первомайский карьер – 24 млн т/год, Анновский карьер – 9 млн т/год. В этом случае только перераспределение производительности карьеров по руде без изменения общей стратегии производства товарной продукции увеличит чистый годовой доход комбината.

Выводы. Разработана методика перераспределения производительности группы карьеров по руде, входящих в состав горно-обогатительного комбината, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде при изменении потребности в железорудной продукции. Доказано, что лучшим распределением производительности карьеров по руде в стратегии развития горных работ Северного ГОК является вариант, когда Первомайский карьер работает с максимально возможной производительностью, а Анновский карьер обеспечивает производительность в 9 млн т/год, которая необходима для выполнения стратегии комбината. Расчеты показали, что перераспределение производительности по руде между Первомайским и Анновским карьерами только на 1 млн т/год в сторону Первомайского карьера позволит увеличить прибыль комбината СЕВГОК на 96 млн грн.

Библиографический список / References

1. Арсентьев А. И. Стратегия и тактика проектирования открытых горных работ / А. И. Арсентьев // Горный журнал. – М., 2008. – № 11. – С. 54–58.
Arsentiev A. I. (2008). *Strategy and tactics of open mining operations engineering*. Mining Magazine. Moscow. No. 11, pp. 54-58.
2. Романенко А. В. Обзор и анализ проектных решений по технологии открытых горных работ на Глееватском карьере ПАО «ЦГОК» / А. В. Романенко, А. Е. Биленко, В. В. Терещенко, В. Г. Пшеничный // Гірничий вісник КНУ: збірник наук. праць. Вип. 95 (1). – Кривий Ріг, 2012. – С. 25–31.
Romanenko A. V., Bilenko A. E., Tereschenko V. V., Pshenichniy V. G. (2012). *Review and analysis of design solutions for open cast mining in Gleevatkiy mine PJSC "TSGOK"*. Mining Bulletin of Kryvyi Rih National University: collection of scientific papers. Kryvyi Rih. No. 95 (1), pp. 25-31.
3. Косолапов А. И. О возможности управления производственной мощностью карьеров при вариации спроса на их продукцию при разработке крутопадающих месторождений / А. И. Косолапов, А. И. Пташник // Междуна-

родный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – Красноярск, 2011. – № 6. – С. 33–36.

Kosolapov A. I., Ptashnik A. I. (2011). *About the possibility to manage operational capacity of mines along with product demand variation when developing steep-dipping deposits*. International Magazine of application and fundamental studies. Krasnoyarsk. No. 6, pp. 33-36.

4. Вилкул Ю. Г. О проблеме отставания вскрышных работ в железорудных карьерах / Ю. Г. Вилкул, С. А. Луценко, О. Ю. Близнюкова // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – № 3. – С. 92–96.

Vilkul Yu. G., Lutsenko S. A., Bliznyukova O. Yu. (2013). *About the problem of stripping operations delay in iron ore mines*. Steel & Mining Industry. Dnipropetrovsk. No. 3, pp. 92-96.

5. Близнюков В. Г. Технологический критерий комплексной оценки режима горных работ и производительности карьера по руде / В. Г. Близнюков, С. А. Луценко, Ю. М. Навитский, И. В. Баранов, О. Ю. Близнюкова // *Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць*. – Кривой Рог, 2013 – С. 268–271.

Blisnyukov V. G., Lutsenko S. A., Navitskiy Yu. M., Bliznyukova O. Yu., Savitskiy A. V. (2013). *Technological criteria of complex evaluation of mining operations mode and ore mining productivity*. Kryvyi Rih University Bulletin: collection of scientific papers. Kryvyi Rih. No. 35, pp. 268-271.

6. Близнюкова О. Ю. Влияние режима горных работ и производительности карьера на экономическую эффективность разработки месторождения / О. Ю. Близнюкова // *Качество минерального сырья: сб. науч. тр.* – Кривой Рог, 2014. – С. 118–125.

Bliznyukova O. Yu. (2014). *Mining operations mode and mine productivity impact on economic efficiency of deposit development*. Mineral raw material quality: collection of scientific papers. Kryvyi Rih. Pp. 118-125.

7. Близнюков В. Г. Комплексная оценка режима горных работ и производительности карьера / В. Г. Близнюков, С. А. Луценко,

И. В. Баранов, О. Ю. Близнюкова // *Качество минерального сырья: сб. науч. тр.* – Кривой Рог, 2014. – С. 54–66.

Blisnyukov V. G., Lutsenko S. A., Baranov I. V., Bliznyukova O. Yu. (2014). *Complex evaluation of mining operations mode and mine productivity, raw material quality*. Kryvyi Rih. Pp. 54-66.

Purpose. To prove a strategy for mines operation development in the context of varying demand of iron ore products, which would consider the necessity of production intensification in order to cover the market in the period of demand increase and also allowing to avoid additional expenses related to unsold finished product storing in warehouse in the period of demand decrease.

Methodology. Core of the mining operation development strategy has the following idea: the productivity of mine is to be adjusted to varying external conditions during its entire life time. This idea realization was done by developing the productivity reallocation methodology for the group of open pits which are the part of one mining & beneficiation plant. This methodology considers interrelation between mining operations and ore extraction when iron ore product demand is varied.

Findings. There was a methodology developed for mines (which belong to one Plant) productivity determination which considers the interrelation between mining operations mode and ore mining volumes along with iron ore product demand variation.

Originality. Current methodology allows to adjust mining operations to different market terms and, contrary to existing methodologies, this one includes interrelation between mining operation mode and ore extraction productivity.

Practical value. The proposed methodology for mines group productivity determination may be used at Plants when developing an annual mining operations program along with iron concentrate demand variation. It is proved that the best reallocation of ore extraction productivity in the strategy of Severnyi GOK mining operations is the option when Pervomaysk mine operates with the maximum productivity and Annovsk mine ensures productivity of 9 m.t/y which is required to complete the strategy of Plant.

Key words: open-cast mining; mines goup; open pits productivity for ore mining, mining operations mode, mining operations development strategy.

Поступила 26.09.2016

Metallurgical and Mining
Industry

www.metaljournal.com.ua