

С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., С.А. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГРУППЫ КАРЬЕРОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

Цель. Усовершенствовать научно-методическую базу в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки новых и корректировки существующих методов планирования развития горных работ и определения главных параметров карьеров, которые должны учитывать изменение интенсивности отработки месторождений в течение продолжительных периодов в зависимости от спроса на железорудную продукцию.

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. При этом производительность каждого карьера, входящего в состав горно-обогатительного комбината следует определять исходя из наибольшей эффективности работы ГОКа.

Реализация этой идеи осуществлялась за счет разработки методики перераспределения 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.

Результаты. Разработана методика 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.

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 ГОКа 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.

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

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-131-136

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. 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 [1]. Современные подходы к проектированию карьеров основаны на допущении, что параметры внешней и внутренней среды будут относительно постоянными, а следовательно, не предусматривается значительных изменений конструкции и параметров горнотехнической системы в длительной перспективе. Поэтому при проектировании всегда стремились принять стабильный календарный график на достаточно протяженный срок разработки, закладывая в его основу инвестиции, способствующие решению долгосрочных задач развития рабочей зоны.

Практика работы карьеров показывает, что в кризисные периоды резко происходит падение объемов вскрышных работ. Такое снижение отражает стремление предприятий ограничить рост издержек производства за счет формирования временно нерабочих бортов карьеров, а также рабочих бортов с повышенными углами наклона. Это вызвано во многом невозможностью горнодобывающих предприятий обеспечить гибкое реагирование на изменение внутреннего и внешнего спроса на продукцию без значительного роста затрат на разработку, так как в проектах на разработку месторождения не предусматривается изменения интенсивности отработки месторождений в течение продолжительных периодов. Кроме этого отсутствуют механизмы по обоснованному выбору производственной мощности карьера и режима горных работ, с учетом их взаимосвязи [2, 3], при изменении потребности в железорудном сырье [4]. Так, увеличение потребности в полезном ископаемом, в большинстве случаев, приводит к увеличению объемов добычи, при этом коэффициенты вскрыши не изменяются, снижение спроса - к уменьшению объемов добычи полезного ископаемого, простоям оборудования, зданий и сооружений, сок-

ращению трудящихся, снижению коэффициента использования оборудования во времени. Наряду с этим 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 формирование временно нерабочих бортов в добычной зоне, что является недопустимым. Периодически возникает необходимость в пересмотре предыдущих проектов, из-за отклонения фактического состояния горных работ от проектных решений. Поэтому возникает необходимость в адаптации горных производств, к меняющимся условиям рынка.

При работе карьеров с постоянной производственной мощностью, возникают дополнительные расходы, связанные с хранением нереализованной готовой продукции на складе – в период падения спроса, а также предприятия упускают возможность увеличить прибыль в период роста спроса из-за невозможности оперативной интенсификации производства для покрытия потребности рынка. В связи с этим изменились цели отечественных горных предприятий. Первостепенное значение приобрели вопросы обеспечения конкурентоспособности, которая зависит от принятой стратегии развития горных работ [5].

В этих условиях производительность горного предприятия должна корректироваться в соответствии с изменяющимися внешними условиями на протяжении всего срока его эксплуатации [6]. Т.е существенно повысить экономическую эффективность разработки возможно за счёт реализации гибкого изменения объемов добычи при изменении спроса на добываемую продукцию. Производительностью необходимо управлять как на уровне отдельного карьера, или группы карьеров комбината, так и на уровне группы предприятий одного владельца с целью получения максимума прибыли. Если в состав горно-обогатительного комбината входит несколько карьеров, то производительность каждого из них следует определять исходя из наибольшей эффективности работы ГОКа.

Анализ исследований и публикаций. Вопросы совершенствования методов определения производственной мощности карьера нашли отражение в трудах многих ученых: В.В. Ржевского [7], А.И. Арсентьева [8], Б.П. Юматова, М.Г. Новожилова, Шпанского О.В. [9], В.С. Хохрякова, В.Г. Близнюкова [10], Н.В.Мельникова [11], К.Е. Веницкого, Э.И. Реентовича, Б.А. Симкина. В результате выполненного анализа научных публикации было установлено, что существующая научно-методическая база в области проектирования и планирования открытых горных работ не предусматривает изменения интенсивности отработки месторождений в течение продолжительных периодов. Это свидетельствует об актуальности разработки новых и корректировки существующих методов планирования развития горных работ и определения главных параметров карьеров, которые требуют надежных оптимальных проектных решений. При этом не учитывается, что методы определения главных параметров карьера, как отдельно взятого карьера, так и группы карьеров горно-обогатительного комбината, должны быть тесно связаны с решением комплекса задач, требующих системного подхода к созданию методик определения оптимальных параметров и показателей разработки, учитывающих специфику этих месторождений.

Постановка задач. Поэтому была поставлена цель – разработать методику перераспределения производственной мощности группы карьеров, входящих в состав горно-обогатительного комбината при изменении потребности в железорудной продукции, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде, исходя из условия обеспечения норматива готовых к выемке запасов.

Изложение основного материала. Наибольший экономический эффект освоения сырьевой базы комбината можно получить лишь в том случае, когда производительность устанавливается не для каждого карьера в отдельности, а совокупно для их группы входящей в систему комбината.

С целью регулирования интенсивности отработки месторождений комбината при изменении потребности в товарной продукции необходимо в первую очередь определить максимальную производительность по горным возможностям каждого карьера [12], а также по экономическим возможностям, т.е. по наличию инвестиций для увеличения мощности.

Работу методики рассмотрим на примере группы карьеров СевГОКа: Первомайский и Анновский карьеры, которые добывают железистые кварциты для их переработки в железорудный концентрат. Учитывая горные и экономические возможности комбината, а также потребность в

железородном концентрате на внешнем и внутреннем рынке, проектными институтами в 2008 году совместно с комбинатом была установлена стратегия добычи руды на ближайшие 30 лет:

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

для Анновского карьера – 10-15 млн. т/год.

Объемы вскрышных работ, обеспечивающие достижение этой производительности составляют:

для Первомайского карьера – 17,71-21,6 млн. м³/год ($n=0,76-0,78$ м³/т);

для Анновского карьера – 15,8-16,5 млн. м³/год ($n=1,55-1,57$ м³/т).

Сравнительную оценку вариантов целесообразно производить, используя в качестве критерия оценки максимум чистой современной стоимости денежных потоков

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \left(\frac{\sum_{j=1}^J (A_{p\ tkij} \cdot \gamma_{\kappa\ tkij} \frac{\beta_{(tkij)}}{\beta_{(tkj)}} u_{tk}) - c_{\Pi\ tki}^{y.nep.} \cdot \sum_{j=1}^J (A_{p\ tkij} \cdot \gamma_{\kappa\ tkij}) - 3\Phi_{tki}^{y.nocm.}}{(1+E)^t} - \frac{\sum_{j=1}^J ((a_{o(tkij)}^{y.nep.} + n_{ij} \cdot b_{(tkij)}^{y.nep.}) \cdot A_{p\ tkij} + 3K_{tkij}^{y.nocm.} + 3j^{nep})}{(1+E)^t} \right) \times (1-N) - \sum_{t=1}^T \frac{(\Delta V_{отсм(tij)}^{возм} + \Delta Q_{зм(tij)}) k_{yв} + K_t}{(1+E)^t} \rightarrow \max. \quad (1)$$

Изменение в потребности железородного концентрата может измениться. Поэтому от достигнутого уровня добычи руды на Анновском и Первомайском карьерах исследовали изменение показателя (1) в случае вынужденного изменения объемов производства концентрата в ту или другую сторону. С этой целью для каждого варианта производительности карьера по руде в пределах области возможных вариантов, определяются параметры системы разработки (ширина рабочей площадки и длина активного фронта горных работ, обеспечивающие нормативный запас руды готовый к выемке [13]), от которых зависят коэффициенты вскрыши. Наряду с этим, первоначально был рассмотрен вопрос достижения заданного уровня производительности по руде с учетом сложившегося состояния горных работ в карьерах [14] (по состоянию на 01.01.2014г), а также изменение режима горных работ в зависимости от изменения производительности по руде [15]. Результаты расчетов представлены в таблице. Кроме этого результаты расчетов представлены графически на рис. 1.

Точки В и Г на этом рисунке характеризуют технологические и экономические показатели работы карьеров с производительностью по руде, установленной стратегией развития комбината на 01.01.2014г:

для Первомайского карьера – $A_{\Pi} = 23$ млн. м³/год, $n_{\Pi}=0,72$ м³/т, $\gamma_{\Pi}=0,42$;

для Анновского карьера – $A_A = 10$ млн. м³/год, $n_A=1,83$ м³/т, $\gamma_A=0,39$.

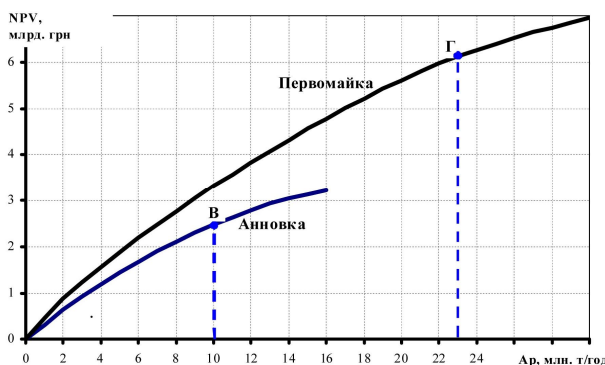


Рис. 1. Изменение чистой современной стоимости денежных потоков (NPV) в зависимости от изменения потребности в руде карьеров СевГЭК

Анализ рис. 1 показывает, что с увеличением производительности, как Первомайского, так и Анновского карьеров, несмотря на увеличение коэффициентов вскрыши, растет прибыль от производства концентрата. Наклон кривых показывает, что чем больше угол наклона, тем больше комбинат получит прибыли от одинакового увеличения производительности карьера. Наклон линий 1 и 2 изменяется в зависимости от значения производительности. Это значит, что одинаковый прирост производительности по руде Анновского и Первомайского карьеров обеспечат неодинаковый прирост чистого денежного потока комбината. При этом на прирост чистого денежного потока комбината будет влиять уровень производительности на оцениваемый момент времени.

Исходные данные и результаты расчетов доходов Северного ГОКа

Показатели	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}
Объем добычи руды, млн. т/год (A_p)	21	22	23	24	25	8	9	10	11	12
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
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
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
Годовая чистая современная стоимость денежных потоков, млрд., грн (NPV)	4,41	4,57	4,74	4,91	5,02	1,1	1,21	1,28	1,34	1,4

Для наглядности графически представим зависимость прироста чистой современной стоимости денежных потоков (NPV) от прироста производительности (ΔA_p) Анновского (2) и Первомайского (1) карьеров (рис. 2).

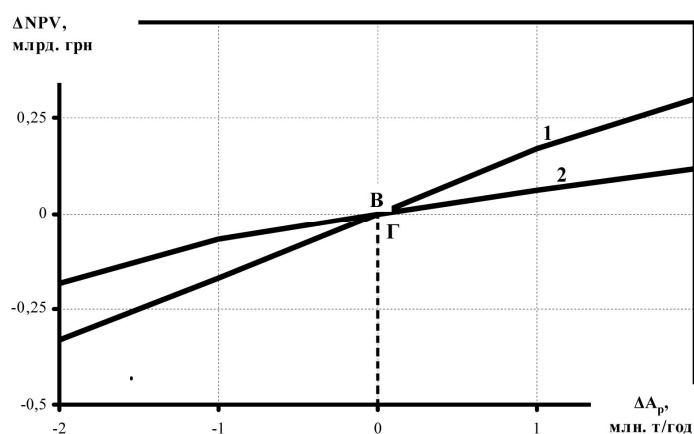


Рис. 2. Изменение годовой чистой современной стоимости денежных потоков ΔNPV в зависимости от изменения производительности A_p карьеров по руде: 1 – Первомайского; 2 – Анновского

Из рис. 2 видно, что при данном варианте сочетания производительностей Первомайского и Анновского карьеров увеличение производительности Первомайского карьера обеспечит большую экономическую эффективность освоения сырьевой базы комбината по сравнению с аналогичным увеличением производи-

сти на Анновском карьере.

Прирост производительности Первомайского карьера на 1 млн. т/год приведет к увеличению прироста чистого денежного потока на 200%, по сравнению с приростом этого показателя в Анновском карьере. В то же время потери чистого денежного потока 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 чистой современной стоимости денежных потоков происходит неравномерно изменению производительности по руде: чистый денежного потока 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 51 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 составит - 63%; на 3 млн. т/год составит - 19%.

Из выше сказанного следует, что проектную производительность комбината по сырой руде в размере 33 млн. т/год лучше всего выполнить за счет увеличения производительности Первомайского 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 обра-

зом: 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.

Сравнение показателей оптимальной производительности группы карьеров СевГОКа (на 01.01 2014 г) с проектной показало, что за счет перераспределения годовых объемов добычи руды в оптимальном режиме можно увеличить эффективность работы комбината.

Аналогичным образом производится перераспределение производительности группы горно-обогатительных комбинатов входящих в состав горнодобывающей компании.

Выводы. Разработана методика перераспределения производительности группы карьеров, входящих в состав горно-обогатительного комбината при изменении потребности в железорудной продукции, которая учитывает взаимосвязь режима горных работ и производительности по руде, исходя из условия обеспечения норматива готовых к выемке запасов.

На примере Анновского и Первомайского карьеров, входящих в состав Северного ГОКа, было выполнено перераспределение производительности по руде без изменения общей стратегии производства товарной продукции 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.

Список литературы

1. **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.
2. **Близнюков В.Г.** Improvement of technical criteria for comparative evaluation of mining operation options of iron ore open pits / **В.Г. Близнюков, С.А. Луценко** // Науковий вісник НГУ. – Д.:ДВНЗ «НГУ», 2017. - №1. С. 44-49.
3. **Луценко С. А.** Исследование режима горных работ, обеспечивающего достижение максимально возможной производительности карьера по руде / **С.А. Луценко** // Вісник НТУУ "КПІ". – Київ. – 2017. - Вип. 34. – С34-40.
4. **Lutsenko. A. Sergey.** Open pits productivity control along with iron ore products demand variation / *Quality – Access to Success.* – 2017. – vol. 18(S1) – С. 226-230.
5. **Арсентьев А.И.** Стратегия и тактика проектирования открытых горных работ / **А.И. Арсентьев** // Горный журнал, №11.- Москва, 2008. - С.54-58.
6. **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** // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, №6. – Красноярск, 2011.- С. 33-36.
7. **Ржевский В.В.** Научные основы проектирования карьеров / **В.В.Ржевский, М.Г.Новожилов, Б.П.Юматов.** – М.: Недра, 1971.– 600 с.
8. **Арсентьев А.И.** Производительность карьеров / **А.И.Арсентьев.** – Санкт-Петербургский горный институт. СПб, 2002.– 85 с.
9. **Шпанский О.В.** Проектирование производственной мощности карьеров: Учеб. пособие / **О.В.Шпанский, Д.Н.Лигоцкий, Д.В.Борисов.** – Санкт–Петербургский государственный горный институт. СПб, 2004. – 96 с.
10. **Близнюков В.Г.** Определение максимальной производительности карьера при установленном режиме горных работ / **В.Г. Близнюков** // Разработка рудных месторождений . – Киев: Изд. «Техніка». - 1975. – Вып. 19. – С. 11-18.
11. **Мельников Н.В.** Вопросы выбора производственной мощности карьера / **Н.В.Мельников, К.Е.Виницкий, В.С.Меньшов, Э.И.Реентович.** - Москва: «Наука», 1971. - с.166.
12. **Луценко С.А.** Разработка метода определения максимальной, по горным возможностям, производительности карьера по руде / **С.А. Луценко** // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2017. - №130. С. 168-175.
13. **Луценко С. А.** Определение ширины рабочей площадки и длины фронта горных работ при изменении производительности карьера по руде / **С.А. Луценко** // Збірник наукових праць НГУ. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2017. - №50. С. 63-69.
14. **Близнюков В.Г.** Технологический критерий комплексной оценки режима горных работ и производительности карьера по руде / **В.Г. Близнюков, С.А. Луценко, Ю.М. Навитний, И.В. Баранов, О.Ю. Близнюкова** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2013 – С. 268-271.
15. **Вилкул Ю.Г.** О проблеме отставания вскрышных работ в железорудных карьерах / **Ю.Г.Вилкул, С.А. Луценко, О.Ю. Близнюкова** // Металлургическая и горнорудная промышленность, №3. – 2013 – С. 92-96.

Рукопис подано до редакції 25.04.2018