

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА РУДОПОТОКА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КАРЬЕРА НА ПРИБЫЛЬ ГОРНООБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

Качество рудопотока карьера, характеризующееся показателем среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента, оказывает влияние на прибыль железорудного ГОКа. Самым затратным процессом является обогащение. Качество исходной руды (рудопотока) существенно влияет на уровень себестоимости обогащения. Обеспечение заданного показателя качества рудопотока позволяет оптимизировать процесс обогащения и снизить затраты. В исследованиях было использовано имитационное моделирование процесса формирования рудопотока с различными показателями среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента при разной степени измельчения и были выполнены расчеты с применением компьютерной программы. По итогам исследований были построены графики зависимости прогнозных показателей прибыли от крупности измельчения для различных значений СКО в рудопотоке карьера для ПАО «ИнГОК» и ПАО «ПГОК» и были установлены зависимости показателей прибыли от величины коэффициента  $\min imax$ .

Более реальным является достижение крупности измельчения 75 мкм, при этом наблюдается падение прогнозного значения прибыли относительно крупности 30-60 мкм до 30 -50 млн грн.

Увеличение СКО на единицу вызывает снижение прогнозной прибыли горнообогатительного комбината в среднем на 25-35 млн грн. в год. Это происходит за счет снижения общего качества рудопотока, вызванного увеличением диапазона колебаний качества. Увеличение СКО на единицу согласно правила «3 $\sigma$ » соответствует показателю  $\min imax$  - 3 % содержания полезного компонента, т.е. ширина диапазона колебаний увеличивается на 3 %.

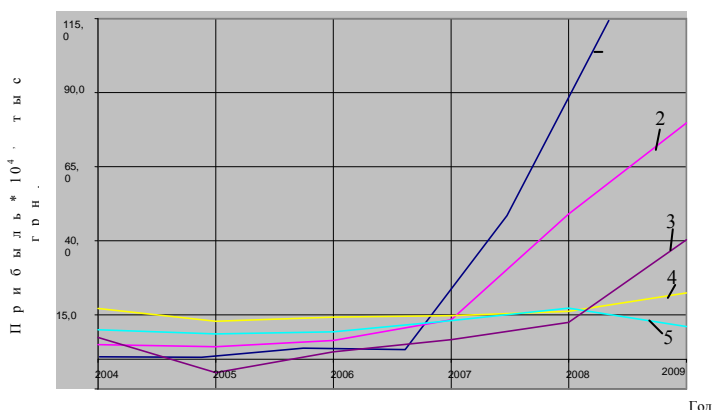
**Ключевые слова:** рудопоток карьера, прибыль горно-обогатительного комбината, среднеквадратическое отклонение содержания полезного компонента, крупность измельчения.

**Проблема и ее связь с основными научными и практическими заданиями.** В условиях кризиса в экономике Украины задача снижения себестоимости производства является весьма актуальной. Существует несколько путей решения этой задачи, которые сводятся к оптимизации производственных процессов, сокращению основных статей затрат, повышению эффективности инвестиций и гибкому реагированию на ценовые колебания рынка сбыта.

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ распределения затрат по основным технологическим процессам железорудных ГОКов Украины свидетельствует, что основная часть затрат приходится на обогащение (от 57 % ПАО «Полтавский ГОК» до 61 % ПАО «Северный ГОК») [10].

**Постановка задачи.** Задача снижения себестоимости производства железорудных ГОКов Украины может быть решена формированием рудопотоков с заданными показателями качества, обеспечивающими оптимальные режимы работы обогатительного производства.

Изменения качества в рудном потоке неизбежны, но весьма важным показателем является ограничение величины колебаний определенным диапазоном и обеспечение соблюдения этого диапазона. Границы диапазона диктуются условиями обогатительного производства. Возможность выдержать содержание в границах заданного позволяет выдержать оптимальный режим обогащения, при котором обеспечивается наиболее рациональные технологические и экономические показатели, в том числе и минимальный показатель себестоимости.



**Рис. 1.** Динамика изменения прибыли железорудных ГОКов Украины за 2004-2009 гг.: 1 - ПАО «СевГОК»; 2 - ПАО «ЦГОК»; 3 - ПАО «ПГОК»; 4 - ПАО «ЮГОК»; 5 - ПАО «ИнГОК»

**Изложение материала и результаты.** Качество продукции горно-обогатительного комбината предопределяет величину его отпускной цены. Цена единицы продукции в свою очередь прямо взаимосвязана с показателем прибыли предприятия [2].

На основании статистических

данных был построен график динамики изменения прибыли железорудных ГОКов Украины за период 2004–2009 гг. На графике наблюдается рост прибыли практически всех комбинатов в 2007 г., связанный с значительным ростом цен на концентрат. [1] Обратный процесс, связанный с падением мировых цен на железорудное сырье, который продолжается и сегодня, вызвал резкое сокращение прибыли железорудных ГОКов Украины, ухудшил практически все технико-экономические показатели и понизил их конкурентоспособность. Поэтому решение задачи по стабилизации прибыли горнообогатительных комбинатов на сегодня является одной из основных производственных задач.

Известно, что прибыль ГОКа определяется по формуле

$$П = \sum QЦ\gamma - \sum (Z_d + Z_n),$$

где  $Q$  - объемы добычи руды за учетный период;  $Ц$  - отпускная цена за 1 т концентрата (величина, изменяемая во времени);  $\gamma$  - выход концентрата;  $Q\gamma = Q_{\text{конц}}$  - объем концентрата за учетный период, где  $\gamma = \varepsilon \alpha / \beta$ ;  $\varepsilon$  - извлечение, доли ед.;  $\alpha$  - с.п.к. в руде;  $\beta$  - с.п.к. в концентрате;  $Z_d$  - общие затраты на добычу полезного ископаемого;  $Z_n$  - затраты на обогащение полезного ископаемого.

По сути,  $\sum (Z_d + Z_n)$  является суммарной себестоимостью всего технологического цикла добычи и переработки

$$\sum (Z_d + Z_n) = \sum (C_{\text{вскрыши}}, C_{\text{добычи}}, C_{\text{концентрата}})$$

Себестоимость процесса обогащения в свою очередь является функцией от следующих показателей

$$C = f(R_{ш}, R_{ф}, R_{э}, R_{в}, R_{з.п.}),$$

где  $R_{ш}$  - расход шаров;  $R_{ф}$  - расход футеровки мельниц;  $R_{э}$  - расход электроэнергии;  $R_{в}$  - расход воды;  $R_{з.п.}$  - расходы на заработную плату

Еще одним важным показателем является раскрытие зерен руды (крупность измельчения). Известно, что чем тоньше помол, тем больше извлечение в металл и меньше потери в хвостах. Однако при этом существенно возрастают расходные материалы и энергозатраты на обогащение и падает производительность обогатительного производства за счет увеличения времени цикла измельчения. [2] [3]

Рассмотрим влияние колебаний качества в рудопотоке (исходной руде обогатительного производства) на величину прибыли на базе имитационного моделирования.

Программа, позволяющая произвести моделирование процесса в виде многовариантных расчетов для различных массивов, в качестве исходных данных использует статистическую базу данных по основным технико-экономическим показателям работы железорудных горнообогатительных комбинатов.

Принцип формирования таблиц исходных данных основывается на двух основных положениях:

1. Прибыль предприятия  $P = f(\sum Z_i, Ц, Q_{\text{год}}, \gamma)$  выражается формулой

$$П = (Ц - Z) \cdot Q_{\text{год}} \cdot \gamma,$$

где все составляющие являются переменными величинами:  $Ц$  - цена 1 т концентрата, грн.;  $Z$  - затраты на одну тонну концентрата, грн.;  $Q_{\text{год}}$  - годовая мощность ГОКа по руде, т;  $\gamma$  - выход концентрата, %.

Известно, что цена - это переменная величина, в том числе зависящая от массовой доли полезного компонента в концентрате. Величина затрат зависит от ряда факторов, но большую часть (до 70 %) в ней составляют затраты на измельчение. Таким образом, затраты на измельчение можно представить как функцию от крупности измельчения исходной руды  $Z = f(d)$ . Вместе с тем, степень измельчения влияет на показатель выхода концентрата. Выход концентрата, в свою очередь, зависит от колебаний качества в рудопотоке, оцениваемый величиной среднеквадратического отклонения  $\sigma$ , а также коэффициентом  $\min \text{max}$ , ограничивающим диапазон колебаний качества. Показатель годовой мощности комбината по руде также величина переменная, влияющая на показатель прибыли в целом.

Взаимосвязь прогнозной прибыли ГОКа, крупности измельчения и различных показателей СКО содержания полезного компонента в исходной руде показана на графиках (рис. 2,3). При этом среднеквадратическое отклонение (СКО) рассматривается в диапазоне от 0 (идеальное состояние) до 5 с шагом 1.

Основные показатели, влияющие на величину затрат при измельчении: расход шаров, футеровки, электроэнергии, заработной платы и воды также являются функцией от крупности измельчения [3].

В расчетах использовалась средняя цена на 1 т концентрата ПАО «ПГОК» в 2007 г., которая составляла 115 долл. за 1 т на условии франко-граница (при курсе НБУ - 5,05 грн. за долл. - 580,75 грн./т). При вычитании транспортных и прочих расходов эта величина составляла 399,40 грн. за 1 т концентрата.

В результате проведенных многовариантных расчетов были получены графики для ПАО «ИнГОК» и ПАО «ПГОК»

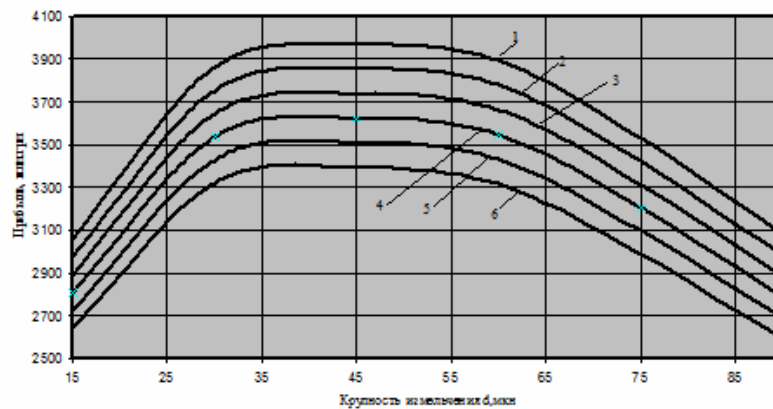


Рис. 2. Зависимость прогнозной прибыли ПАО «ИнГОК» от крупности измельчения при различных значениях среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента в рудопотоке

$$\text{СКО}=0 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0345d^3 - 3,755d^2 + 173,13d + 1199,80$$

$$\text{СКО}=1 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0335d^3 - 3,6467d^2 + 168,05d + 1171,80$$

$$\text{СКО}=2 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0326d^3 - 3,5448d^2 + 163,04d + 1143,80$$

$$\text{СКО}=3 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0319d^3 - 3,4631d^2 + 158,77d + 1107,50$$

$$\text{СКО}=4 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0308d^3 - 3,3525d^2 + 1153,69d + 1079,30$$

$$\text{СКО}=5 \quad y = -0,0001d^4 + 0,0302d^3 - 3,2723d^2 + 149,33d + 1045,50$$

Среднее значение показателя надежности аппроксимации составляет  $R=0,99$

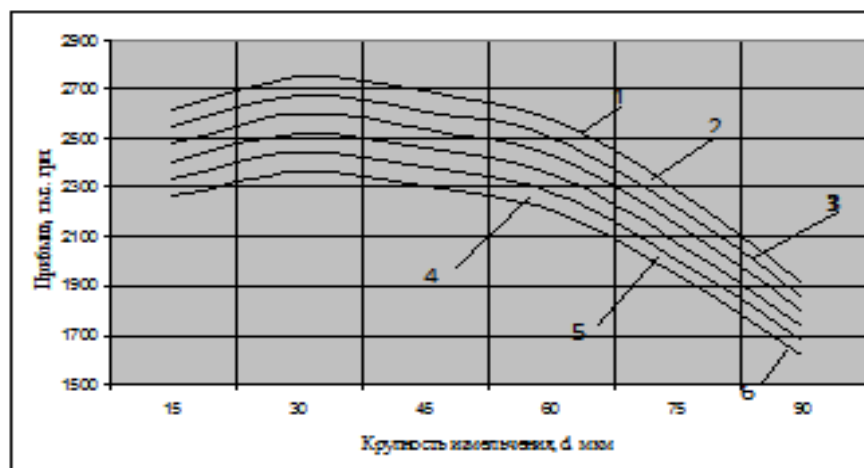


Рис. 3. Зависимость прогнозной прибыли ПАО «ПГОК» от крупности измельчения при различных значениях среднеквадратического отклонения содержания полезного компонента в рудопотоке

$$\text{СКО}=0 \quad y = -0,7292d^4 + 11,903d^3 - 128,06d^2 + 30,45d + 2310,50$$

$$\text{СКО}=1 \quad y = -0,7292d^4 + 11,829d^3 - 123,53d^2 + 407,19d + 2186,20$$

$$\text{СКО}=2 \quad y = -0,7083d^4 + 11,509d^3 - 123,76d^2 + 414,30d + 2251,70$$

$$\text{СКО}=3 \quad y = -0,6042d^4 + 10,171d^3 - 114,38d^2 + 384,84d + 2128,80$$

$$\text{СКО}=4 \quad y = -0,6042d^4 + 10,116d^3 - 112,05d^2 + 373,58d + 2065,80$$

$$\text{СКО}=5 \quad y = -0,5833d^4 + 9,8148d^3 - 108,72d^2 + 360,59d + 2003,70$$

Среднее значение показателя надежности аппроксимации составляет  $R=0,99$

Анализ графиков позволяет сделать вывод, что максимум прогнозной прибыли горно-обогатительного комбината должен приходиться на крупность измельчения исходной руды 30-60 мкм при  $СКО=0$ , что в реальных условиях не встречается.

Более реальным является достижение крупности измельчения 75 мкм, при этом наблюдается падение прогнозного значения прибыли относительно крупности 30-60 мкм до 30-50 млн грн.

Увеличение  $СКО$  на единицу вызывает снижение прогнозной прибыли горно-обогатительного комбината в среднем на 25-35 млн грн. в год. Это происходит за счет снижения общего качества рудопотока, вызванного увеличением диапазона колебаний качества. Увеличение  $СКО$  на единицу согласно правила «3  $\sigma$ » соответствует показателю  $minimax$  - 3 % содержания полезного компонента, т.е. ширина диапазона колебаний увеличивается на 3 %.

Таким образом, прогнозный показатель прибыли ГОКа находится в обратной пропорции  $СКО$  и коэффициента  $minimax$ . Колебания качества в рудопотоке в диапазоне до 3 % от заданного значения вызывают падения прибыли горнообогатительного комбината до 25-35 млн грн. в год.

При этом одной из возможностей стабилизации прибыли предприятий железорудной отрасли является формирование рудопотоков карьеров с заданными диапазонными значениями качества, основным условием которого является стремление  $\sigma$  к  $min$ .

Чем меньше будут колебания качества в заданном диапазоне, тем меньше будет показатель коэффициента  $minimax$ , тем выше величина прогнозной прибыли комбината.

**Выводы.** Прогнозный показатель прибыли ГОКа находится в обратной пропорции  $СКО$  и коэффициента  $minimax$ .

Снижение качества рудопотока карьера на  $\sigma=1$  уменьшает прибыль железорудного ГОКа до 25-35 млн грн. в год.

#### *Список литературы*

1. Азарян В.А. Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины / В.А. Азарян // - Материалы 6 международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании», Варна, 4-10 июня 2010.
2. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров / В.Ф. Бызов // Учебн. для вузов – М.: Недра, 1991. – 239с.
3. Экономика обогащения железных руд. Федосеев В.А. Изд-во «Наука», Ленингр. Отд., 1-112
4. Азарян А.А., Колосов В.А., Ломовцев Л.А., Учитель А.Д. Качество минерального сырья. – Кривой Рог: Минерал, 2001 – 201 с.
5. Бызов В.Ф., Вилкул Ю.Г., Максимов И.И. Об усреднении качества руд при объединении грузопотоков / В.Ф. Бызов, Ю.Г. Вилкул, И.И. Максимов // *Металлургическая и горная промышленность*, 1982. - №2. - С. 64-65.
6. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. Внутрикарьерное усреднение железных руд / С.Я. Арсеньев, А.Д. Прудовский // М.: Недра, 1980.
7. Бастан П.П., Костина Н.К. Смешивание и сортировка руд / П.П. Бастан, Н.К. Костина // М.: Недра, 1990.
8. Кармазин В.В. Современные тенденции в использовании минерального сырья / В.В. Кармазин // Сб. «Устойчивое развитие горнодобывающей промышленности», Кривой Рог, КТУ. -2004.
9. Шамрай О.В. Формування кар'єрних рудопотоків для стабілізації якості руди / О.В. Шамрай // Рукопис. Дис. канд. техн. наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. – Криворізький технічний університет: Кривий Ріг, 2009. - 140.с.
10. Азарян В.А. Анализ влияния технологических факторов на себестоимость производства железорудных ГО-Ков Украины / В.А. Азарян // Сборник трудов КТУ. - Кривой Рог, 2009.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.15