УДК 330.502

В.А.ФЕДОСЕЕВ
профессор кафедры организации и управления
А.А.АНТИПИН
аспирант кафедры организации и управления

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ И ЭКОНОМИЧЕСКИ ДОПУСТИМЫХ ПРЕДЕЛОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД И МЕТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Выполнено исследование влияния обогащения исходного сырья и его металлизации на экономику производства и использования металлизованных окатышей. Для определения оптимальной степени и экономически допустимых пределов обогащения железных руд и металлизации железорудных окатышей предлагается использовать критерий, который отражает максимум экономического эффекта в расчете на 1 т чугуна или стали. Рассмотрены основные условия, при которых происходит смещение оптимальных и допустимых пределов обогащения железных руд и металлизации железорудных окатышей.

The research shows an effect of initial raw material's dressing and metallization on the economics of metallized pellet's production and utilization. We suggest using criterion, which reflects maximum efficiency per ton of a steel or a cast iron to determine an optimal degree and an economic tolerable limits of iron-ore-dressing and metallization of the iron-ore pellets. The research describes main conditions of optimal and tolerable iron-ore-dressing and metallization of the iron-ore pellets limit's displacement.

Повышение качества железорудного концентрата на обогатительных фабриках обусловливает увеличение расходов на обогащение руды, что влечет за собой рост эксплуатационных и капитальных затрат на 1 т концентрата и снижение выпуска готовой продукции, при этом обеспечивается значительная экономическая эффективность в доменном и сталеплавильном производстве.

При сравнительной оценке эффективности глубины обогащения необходимо также учитывать затраты на транспортировку железорудного сырья до металлургических заводов. Так, ОАО »Северсталь», потребляющий концентраты Ковдорского и Оленегорского комбинатов, с повышением их качества обеспечивает значительную экономию на транспортных расходах – свыше 1,5 % на каждый процент повышения содержания железа в концентрате.

Повышение качества концентрата связано с определенными капитальными затратами на реконструкцию фабрик. Поэтому экономическая эффективность глубокого обогащения может быть определена показателями, характеризующими эксплуатационные и капитальные затраты при обогащении руды и в металлургическом производстве. При выполнении соответствующих расчетов следует исходить из одинаковой по качеству конечной продукции. Таким продуктом при оценке глубокого обогащения железных руд может являться стандартный чугун (сталь).

В настоящей работе выполнено исследование влияния обогащения исходного сырья и его металлизации на экономику производства и использования металлизованных окатышей. Металлизация окатышей рассмотрена в двух вариантах: в шахтном реакторе и в трубчатых вращающихся печах.

Влияние степени металлизации на показатели производства металлизованных окатышей определялось при условии, что процесс восстановления регулируется скоростью опускания материалов при постоянном расходе восстановительного газа в единицу времени, когда количество восстановительного газа (Q) в расчете на 1 т исходного материала (окатышей) изменяется пропорционально скорости опускания материалов в шахтном

реакторе или времени пребывания материалов в трубчатой вращающейся печи τ (в часах):

$$Q = Q_0 \frac{\tau}{\tau_0},$$

где факторы с индексом ноль – это значения в исходном варианте, для которого Q_0 и τ_0 известны. В этом случае степень металлизации η (в долях единицы) будет изменяться согласно формуле К.К.Шкодина*.

$$\frac{\lg(1-\eta)}{\lg(1-\eta_0)} = \frac{\tau}{\tau_0}.$$

Обогащение железорудного сырья приводит к увеличению содержания связанного с железом кислорода в окатышах, которое при одинаковой степени окисленности железа прямо пропорционально его содержанию. Для достижения одинаковой степени металлизации окатышей (при постоянной восстановимости окатышей) необходимо в единицу времени подавать одно и то же количество восстановительного газа. При этом скорость опускания материалов в шахтном реакторе будет уменьшаться пропорционально увеличению количества кислорода в окатышах и соответственно увеличению количества железа β (в долях единицы), т.е. $\tau/\tau_0 = \beta/\beta_0$. В этом случае расход природного газа на 1 т окатышей изменяется также пропорционально содержанию в них железа, т.е. $Q/Q_0 = \beta/\beta_0$.

Себестоимость (в рублях за тонну) металлизованных окатышей $C_м$ представим в виде суммы следующих ее составляющих: стоимости заданного C_a, условно-переменных расходов по переделу C_p и постоянных C_q, включающих и общезаводские расходы.

Условно-переменные расходы по переделу включают, помимо расходов на природный газ, энергетические затраты и затраты на вспомогательные материалы. И те и другие затраты связаны с получением, циркуляцией и очисткой восстановительного газа, количество которого пропорционально расходу природного газа на конверсию, и, следовательно, переменная часть расходов по переделу в расчете на 1 т исходного сырья изменяется в соответствии с расходом природного газа, а на 1 т металлизованных окатышей – также в соответствии с выходом годного.

Условно-постоянная часть расходов по переделу, учитывающая и общезаводские расходы, находится в обратной (от производительности агрегата) или в прямой зависимости (от времени пребывания) в нем материалов.

Учитывая зависимость расхода природного газа и времени пребывания материалов в агрегате от степени металлизации η и степени обогащения β исходного сырья, а также влияние расхода газа и производительности агрегата на отдельные составляющие себестоимости металлизованных окатышей, зависимость $C_м$ от степени металлизации и содержания железа в исходном сырье представим в виде

$$C_{\text{i}}(\beta,\eta) = q(\beta,\eta)\left[C_a(\beta) + \frac{C_{0p}}{q_0}\frac{\beta\lg(1-\eta)}{\beta_0\lg(1-\eta_0)}\right] + C_{0q}\frac{\beta\lg(1-\eta)}{\beta_0\lg(1-\eta_0)},$$

где q – расход металлизованных окатышей, т/т.

Экономическую эффективность обогащения железных руд и металлизации окатышей определим по формуле

$$Э_{\text{èíò}} = \frac{Q(Ц - С)}{(1-e)^t},$$

где $Э_{инт}$ – интегральный экономический эффект производства металлизованных окатышей, руб.; Ц – цена 1 т металлизованных окатышей, руб.; С – себестоимость 1 т металлизованных окатышей, руб.; Q – годовой объем производства окатышей, т; e – норма дисконта.

Чтобы выявить экономически оптимальную степень обогащения железных руд и степень металлизации окатышей, следует

---

* *Гольмшток И.Я.* Влияние степени обогащения исходного сырья и степени металлизации губчатого железа на экономические показатели его производства / И.Я.Гольмшток, К.К.Шкодин // Труды института «Гипроникель». Л., 1972.

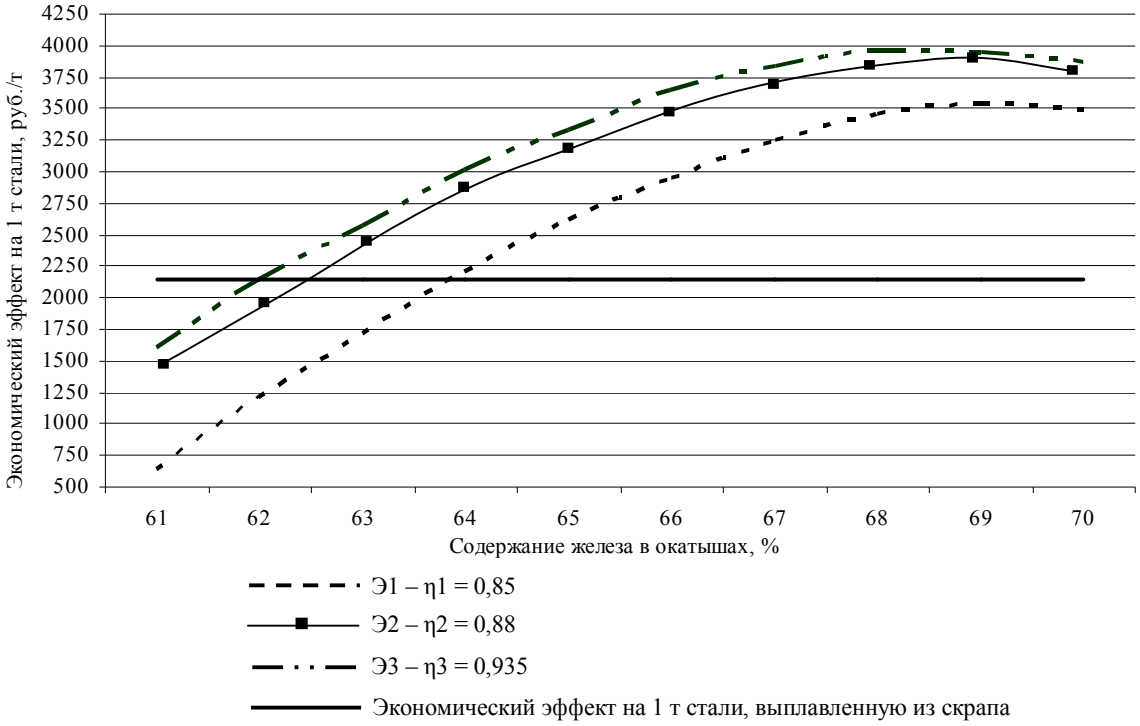


Рис.1. Определение минимально допустимого содержания железа в окатышах

сопоставить результаты, получаемые при применении рассматриваемых факторов в сфере производства металлизованных окатышей и их использования. При этом оптимальные значения должны быть установлены по максимуму экономического эффекта на производство 1 т стали или чугуна.

В общем виде для определения экономического эффекта на производство 1 т стали (чугуна), при которой обеспечивается соблюдение указанного условия, используем следующую формулу:

$$Э_{ст} = Ц_{i\,ст} - С_{i\,ст}, \rightarrow \max$$

где $Ц_{i\,ст}$ – цена 1 т стали (чугуна), выплавляемой из металлизованных окатышей, руб./т; $С_{i\,ст}$ – себестоимость 1 т стали (чугуна), выплавляемой из металлизованных окатышей, руб./т; i – содержание железа в окатышах и фиксированной степени металлизации.

Результаты расчета экономического эффекта представлены на рис.1. Как видно, оптимальные результаты достигаются при содержании 68,85 % железа в исходном сырье и степени металлизации 93,5 %. Из приведенных данных (рис.1) следует, что использование богатых по содержанию железа окатышей при всей степени их металлизации обеспечивает лучшие результаты.

При содержании железа в окатышах свыше 68,85 % экономический эффект на производство стали уменьшается. Это свидетельствует о том, что достигнут экономический оптимум механического обогащения железной руды.

Помимо оптимальной степени обогащения руды в работе также графическим путем определялись и допустимые пределы обогащения. Точки пересечения кривых зависимостей Э от β при фиксированных значениях η с линией, проведенной параллельно оси абсцисс, выражающей экономический эффект на производство стали из скрапа $Э_{скр}$, и есть искомые минимально допустимые пределы по содержанию железа в исходных окатышах. Согласно рис.1, различным фиксированным степеням металлизации η соответствуют различные экономически допустимые пределы по содержанию

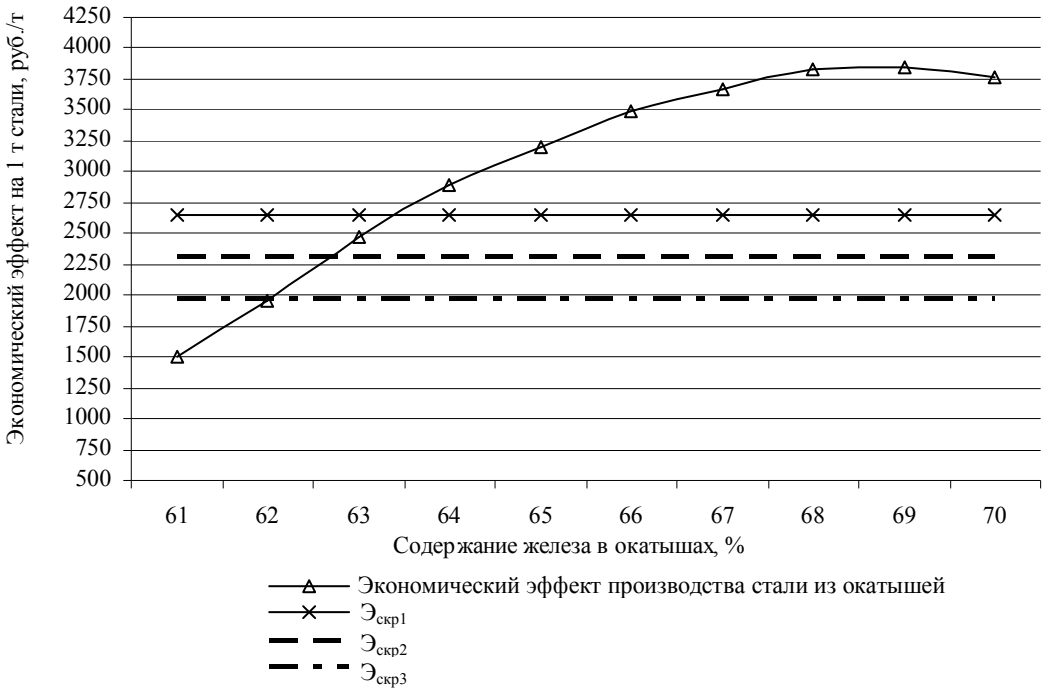


Рис.2. Изменение условий эффективности в зависимости от величины затрат на сталь, выплавляемую из скрапа

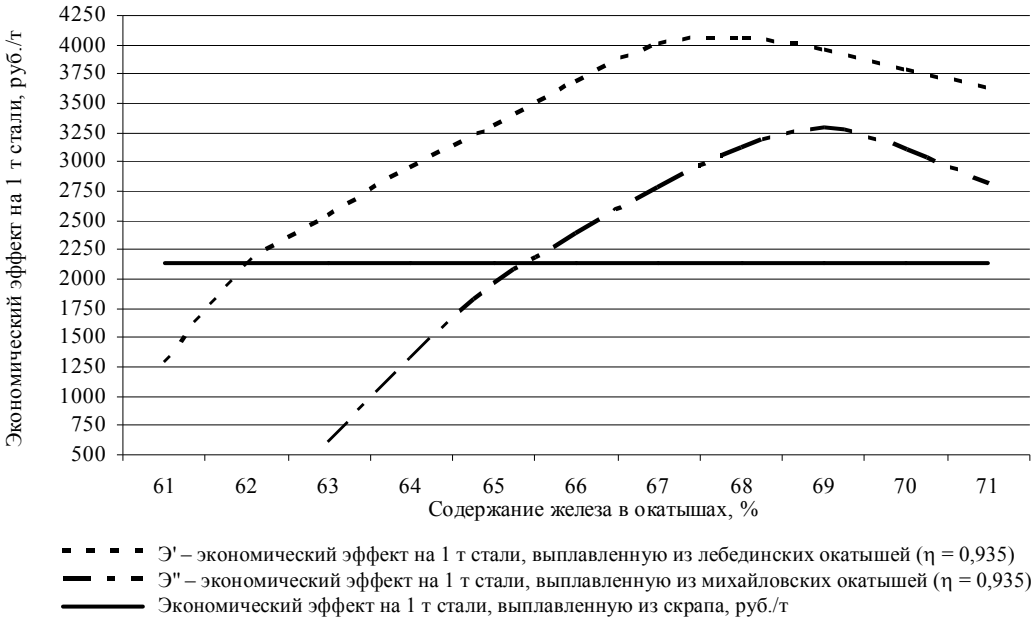


Рис.3. Изменение граничных условий эффективности в зависимости от стоимости исходного сырья

железа в окатышах. Это значит, что если глубокое обогащение руды сопряжено с большими затратами, то высокая степень металлизации железа обеспечивает эффективность использования и не очень богатого концентрата.

Пределы экономической эффективности могут смещаться при изменении условий. Во-первых, за счет изменения затрат на скрап, что соответственно приводит к изменению величины $Э_{скр}$ на сталь из скрапа. Одной и той же фиксированной степени ме-

таллизации при разной величине $Э_{скр}$ соответствуют различные пределы по содержанию железа в окатышах (рис.2).

Экономические условия зависят от граничных пределов эффективности в связи с изменением цен на материалы, топливо, энергию и, в особенности, на стоимость исходного сырья, используемого в производстве металлизованных окатышей. Стоимость исходного сырья в зависимости от условий добычи руды, ее обогащения и разной удаленности обогатительной фабрики от металлургического завода резко колеблется. Соответственно этому в различных экономических районах даже при неизменных затратах на сталь из скрапа и одинаковой степени металлизации имеют место разные экономически допустимые пределы по содержанию железа в исходном сырье (рис.3).

Таким образом, увеличение степени обогащения и металлизации исходного сырья с одной стороны приводит к росту эксплуатационных и капитальных затрат на производство металлизованных окатышей, с другой – оказывает благоприятное влияние на его качество, т.е. на показатели его использования в доменном и сталеплавильном производствах.

Оптимальные результаты по выплавке стали из окатышей достигаются при содержании 68,85 % железа в окатышах и степени металлизации окатышей 93,5 %.

Экономически допустимые границы степени обогащения железной руды могут смещаться в зависимости от стоимости этого сырья, степени металлизации окатышей и уровня затрат на сталь базового варианта.