

УДК 622.7

Бегунов Артем Александрович, директор
(ОФ Красногорская, г. Междуреченск),
аспирант кафедры ОПИ (КузГТУ г. Кемерово)
Удовицкий Владимир Иванович, зав. кафедрой ОПИ,
д.т.н., профессор (КузГТУ, г. Кемерово)
Begunov Artem, Director
(PP Krásnohorská, Mezhdurechensk),
Doctoral student, Chair of Mineral Processing (KuzSTU, Kemerovo)
Udovickij Vladimir, Head of Chair of Mineral Processing
Doctor of Engineering, Professor, (KuzSTU, Kemerovo)

ОБЗОР МЕТОДИК РАСЧЕТА ПОТЕРЬ, ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УГЛЕЙ И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

REVIEW OF THE METHODS OF CALCULATING LOSSES, COAL QUALITY INDICATORS AND THEIR PRODUCTS

Аннотация

На основе анализа методик расчета потерь, показателей качества углей и продуктов их переработки выбран метод определения максимального выхода суммарного концентрата требуемой зольности, позволяющий сократить потери горючей массы.

Annotation

Based on an analysis of the methods of calculating losses, coal quality indicators and their products selected by the method of determining the maximum yield of total concentrate required ash, allowing to reduce the loss of combustible matter

Методика расчета норм показателей качества углей и продуктов их переработки разработана в 1983 г. специалистами института «Укрнииуглеобогащение», института ДонУГИ и института Горного дела им. А.А. Скочинского, устанавливала единый порядок подготовки исходных данных и расчета норм показателей качества (НПК) на угли шахт, разрезов и продукты их рассортировки, брикетирования и обогащения. Методика введена Управлением стандартов и контроля качества Министерством угольной промышленности СССР, согласована с Союзглавугом при Госнабс СССР, утверждена и введена в действие Приказом Министерства угольной промышленности СССР от 16.02.83 г. № 94 со сроком действия с 1.06.83 г. по 1.06.85 г. Далее Методика переиздана Министерством угольной про-

мышленности СССР в 1987 г. В нее внесены изменения № 1 от 21.10.93. г. № 23-29-1124 [1].

В Методике [1] представлены (с примерами расчета):

- материалы для расчета НПК;
- расчет НПК углей;
- расчет НПК продуктов рассортировки;
- расчет НПК брикетов;
- расчет НПК продуктов обогащения
- по шахтам и разрезам.

Показан пример расчета практического баланса продуктов обогащения из теоретического с учетом норм взаимозасорения.

Расчет потерь в Методике [1] не рассматривался.

Методика расчета баланса продуктов обогащения по обогатительной фабрике и производственному объединению опубликована в 1985 г. Она разработана в соответствии с мероприятиями, проводимыми в отрасли по реализации основных положений Постановления № 695 в области совершенствования планирования и повышения эффективности работы (приказ Министра угольной промышленности СССР от 30.08.79 г. № 427) [2].

Методика обеспечивает получение научно-обоснованных показателей баланса продуктов обогащения, используемых при разработке проектов планов производства углеобогатительных фабрик, оценке их текущей производственной деятельности и проведения научно-исследовательских работ.

Методика определяет расчет качественно-количественных характеристик продуктов обогащения вероятностными методами с использованием погрешности разделения и среднего вероятного отклонения; оптимальный состав технологических операций с использованием математического моделирования технологических процессов обогатительной фабрики.

Расчет потерь в Методике [2] также не рассматривался.

В соответствии с законодательством РФ о пользовании недрами нормативы потерь полезных ископаемых при переработке определяются при подготовке проектов первичной схемы переработки минерального сырья.

В 1987 г. разработаны Типовые методические указания (ТМУ) по определению, учету, экономической оценке и нормированию потерь твердых полезных ископаемых. В работе использованы типовые методические указания 1973 г., подготовленные на основе Сб. руководящих материалов по охране недр 1973 г. [3].

В ТМУ указаны причинные связи потерь в следующих процессах переработки минерального сырья:

- рудоподготовка;
- обогащение;

- гидрометаллургия;
- пирометаллургия.

Потери классифицированы на технологические и организационно-технические с указанием причин их возникновения.

Для угледобывающих и перерабатывающих предприятий указанная методика не могла быть использована.

Нормативы потерь полезных ископаемых при добыче определяются при подготовке проектов разработки месторождений твердых полезных ископаемых и годовых планов развития горных работ, а также при списании запасов полезных ископаемых, поставленных на государственный учет. Определения нормативов и видов потерь приведены в публикациях [4, 5].

На основе Методики [1] создана Инструкция по определению и нормированию потерь угля (сланца) [5], которая содержит в себе как способ расчета баланса продуктов переработки, так и метод расчета непосредственно потерь в зависимости от процесса обогащения.

Инструкция, устанавливающая принципиальные требования в части рационального комплексного использования угля (сланца) при переработке, предназначена для разработки на ее основе специальных временных инструкций для предприятий.

Инструкция устанавливает требования по определению и нормированию потерь при переработке добытого угля (сланца) до получения конечных продуктов. За конечный продукт технологической переработки горной массы принят угольный (сланцевый) концентрат (или продукт), отвечающий требованиям отраслевых технических условий, являющийся товаром в гражданском обороте.

Согласно Инструкции [5] *потери* при переработке горной массы представляют собой часть угля (сланца), находящегося на учете предприятий, которая переходит из исходной горной массы в отходы и пыль, откуда уголь (сланец) не извлекается при последующей переработке.

Степень извлечения угля из горной массы в готовую продукцию или не извлечения угля в отходы зависит как от технических, так и организационных факторов.

Техническая составляющая – свойства (особенности) горной массы и применяемой при переработке технологии обогащения и единиц оборудования, встроенных в эту цепочку.

Организационная составляющая – строгое соблюдение режимов работы оборудования, установленных технологическим регламентом.

Потери при мокром обогащении угля (безвозвратный унос угля и угольной пыли со сточными водами и в атмосферу), не должны превышать **0,5 %** при глубине обогащения до 6 мм и **1 %** – при глубине обогащения до 0 мм.

Для расчета практических значений выхода и зольности продуктов обогащения используются вероятностные показатели:

- погрешность разделения крупного класса угля по породе при отсадке;
- погрешность разделения крупного класса угля по концентрату при отсадке;
- среднее вероятное отклонение для крупного класса угля по породе при тяжелосредней сепарации;
- среднее вероятное отклонение для крупного класса угля по концентрату при тяжелосредней сепарации;
- погрешность разделения мелкого класса угля по породе при отсадке;
- погрешность разделения мелкого класса угля по концентрату при отсадке;
- вероятное отклонение для мелкого класса угля по породе при тяжелосредней сепарации;
- вероятное отклонение для мелкого класса угля по концентрату при тяжелосредней сепарации.

Их значения указываются в соответствии с Приложением 2 (таблица значений интеграла вероятности Гаусса) [2] или по данным бассейновых научно-исследовательских институтов.

Как такового расчета потерь в данной методике не проводится, а норма устанавливается декларативно и выражена в конкретных единицах.

Потери при переработке горной массы представляют собой часть угля (сланца), находящегося на учете предприятий, которая переходит из исходной горной массы в отходы и пыль, откуда уголь (сланец) не извлекается при последующей переработке. Уголь (сланец), содержащийся в сохраняемых отходах (отвалах, шламохранилищах, хвостохранилищах и т.д.), должен рассматриваться наряду с забалансовыми запасами как перспективные ресурсы. При этом предприятием должны приниматься меры к сохранению данных продуктов от порчи и потерь, а также по разработке технологии их эффективного использования.

Технологически обоснованными (базовыми) потерями для данного предприятия является та часть количества угля (сланца), которая не может быть извлечена действующей на данном предприятии технологией без его реконструкции.

Порядок и организация определения, учета и контроля потерь, качества, количества угля (сланца) при переработке устанавливаются техническими проектами и инструкциями и согласовываются с территориальными органами Госгортехнадзора России. Технические проекты и инструкции должны определять методы, порядок, точки отбора проб и частоту опробования, размещение в технологической цепи аппаратов, устройств для определения и контроля качества и количества продуктов, а также методы

анализа проб и контроля точности получаемых аналитических данных в соответствии с требованиями действующих государственных стандартов. Количество контролируемого угля (сланца) определяется документами и материалами по передаче объектов в промышленное освоение, в исходной горной массе и продуктах переработки определяется в проекте предприятия или в инструкции предприятия в зависимости от состава угля (сланца) и требований, предъявляемых к конечным продуктам переработки.

На перерабатывающих предприятиях потери определяются, учитываются и нормируются по фактическому качеству добытых и поступивших в переработку углей (сланцев) (масса, плотность, зольность, удельная теплота сгорания, механическая прочность, влажность, содержание серы, и другие показатели).

Норматив потерь на действующем предприятии, как правило, не должен быть выше потерь, установленным проектом строительства (реконструкции) предприятия по переработке угля (сланца), а также учитывать результаты последующих исследовательских работ по повышению извлечения угля (сланца).

Теоретический баланс дает представление о показателях продуктов обогащения при идеальном разделении с погрешностью равной 0 и рассчитывается по данным сводки результатов фракционного анализа. Расчет заключается в определении суммарного выхода и средневзвешенных значений показателей качества фракций, относимых в соответствующие продукты. При этом плотности разделения выбирается так, чтобы качественная характеристика продуктов удовлетворяла предъявляемым требованиям для данного вида потребления и обеспечивались минимальной потерей угля с отходами.

Согласно [4] практический баланс рассчитывается по теоретическому с учетом допустимого засорения продуктов посторонними фракциями.

В процессе расчета ожидаемых показателей продуктов обогащения (практического баланса) производится расчет выхода и зольности потерь угля с отходами обогащения по следующим формулам в зависимости от процесса обогащения:

1. При обогащении углей с выделением двух продуктов:

$$\gamma_{y(o)} = \frac{\gamma_o \cdot \gamma_{л(o)}}{100}, \text{ где}$$

γ_o - выход отходов;

$\gamma_{л(o)}$ - массовая доля легких фракций в отходах в процентах от отходов

$$A_y^d = A_{л(o)}^d - 1,2A_n^d$$

2. При обогащении угля в тяжелых средах в две стадии с выделением трех продуктов:

$$\gamma_{y(o)} = \frac{\gamma_o \cdot \gamma_{с(o)}}{100}, \text{ где}$$

$\gamma_{c(o)}$ - массовая доля средних фракций в отходах в процентах от отходов

$$A_{y(o)}^d = A_{c(o)}^d - A_c^d$$

3. При обогащении углей в отсадочных машинах с выделением трех продуктов:

$$\gamma_{y(o)} = \frac{\gamma_T^1(\gamma_{c(o)} + \gamma_{л(o)})}{100}$$
$$A_{y(o)}^d = \frac{\gamma_{c(o)} \cdot A_c^d + \gamma_{л(o)} \cdot 1,2A_{л}^d}{\gamma_{c(o)} + \gamma_{л(o)}}$$

4. При обогащении мелких классов угля методом флотации

$$\gamma_{y(o)} = \gamma_o \cdot (A_{>1800}^d - A_o^d) / (85 - A_o^d)$$

$$A_{y(o)}^d = \{\gamma_o A_o^d - A_{>1800}^d (\gamma_o - \gamma_{y(o)})\} : \gamma_{y(o)}, \text{ где}$$

$A_{>1800}^d$ - зольность тяжелых фракций плотностью более 1800 кг/м³ в кл. +0,5 (1) мм исходного угля;

85 – средняя зольность глинистых пород, %.

В итоге в практический баланс продуктов обогащения сводятся потери угля в отходах по каждому процессу отдельно с различной зольностью и суммируются в общие потери.

Расчет баланса продуктов обогащения осуществляется с применением нормативов засорения продуктов обогащения посторонними фракциями, данная норма характеризует эффективность работы обогатительных аппаратов, встроенных в рассчитываемую технологическую цепочку. Содержание таблицы нормативов засорения посторонними фракциями не отражает всю номенклатуру аппаратов, используемых на сегодняшний день в России, что безусловно мешает ее универсальному применению при разработке проектов вновь строящихся и реконструируемых предприятий, а также оценки качества переработки на действующих производствах, тем более учитывая возможность установки норматива технической службой предприятия самостоятельно по согласованию с бассейновым институтом.

Подробно анализ методов прогнозирования результатов переработки и технологической эффективности обогатительных аппаратов рассмотрен в публикации [8].

Исторически развитие методик расчета выглядит следующим образом - первоначально ориентировочные показатели переработки принимались по данным работы аналогичных машин на действующих фабриках, перерабатывающих аналогичное сырье. В дальнейшем, когда требования к точности прогноза увеличились, был предложен ряд методов расчета ожидаемых результатов переработки, основанный на определении теоретических показателей по данным расслоения пробы исследуемого угля в тяже-

лых жидкостях и внесении поправок, учитывающих взаимное засорение продуктов разделения в промышленных условиях.

Применение метода взаимных засорений для определения практических выходов и зольностей продуктов переработки нельзя признать рациональным, т.к. основан на назначаемых показателях засорения. Метод не учитывает полный фракционный состав разделяемого угля.

Все технологические схемы переработки формируются из определенного набора единиц оборудования, от которых зависят экономические показатели. Выбор критерия для оценки различных вариантов является одним из важнейших вопросов в задаче оптимального отбора. Критериями могут быть различные технологические показатели: производительность по исходному; себестоимость продукции; удельные капитальные затраты, т.е. таковыми могут быть практически все технические и экономические критерии с учетом обогатимости углей.

Постановка задачи технико-экономического расчета схемы состоит в следующем. Дана технологическая схема с известным вариантом аппаратной реализации узлов. Каждый аппарат характеризуется своей стоимостью, эффективностью разделения, занимаемым объемом здания, расходом электроэнергии и др. известна производительность схемы по исходному материалу.

При управлении технологией гравитационного разделения прогнозирование фракционного состава необходимо в конечном итоге для определения оптимальных плотностей разделения, при которых достигается максимум критерия оптимальности. В зависимости от способов расчета с потребителями в качестве критериев использованы следующие технико-экономические показатели:

1. Выход суммарного концентрата планируемой зольности, рассчитываемой с погрешностью $\pm 0,05$ %.
2. Выход суммарного концентрата, зольность которого должна быть меньше заданной.
3. Величина прибыли, рассчитываемая от реализации суммарного концентрата планируемой зольности.
4. Величина прибыли, рассчитываемая от реализации суммарного концентрата, зольность которого равна или меньше заданной с учетом цены за 1 т суммарного концентрата, зависящей от качества.

На основании вышеизложенного и с целью универсального применения для различных типов обогатительных аппаратов и вариантов их расположения в технологической цепочке, а также учета особенностей перерабатываемого сырья, остро встает вопрос обновления методик расчета потерь при переработке минерального сырья. Методики позволяющей для одного и того же сырья рассчитать эффективность различных вариантов технологических схем и для одной технологической схемы рассчитать ва-

рианты наиболее эффективной сырьевой базы. Методики расчета баланса продуктов обогащения с расчетом величины потерь минерального сырья.

По мнению авторов, расчет баланса продуктов обогащения для новой методики предлагается с применением интеграла Гаусса, а расчет потерь помимо фактического качества добытых и поступивших в переработку углей (сланцев) (масса, плотность, зольность, удельная теплота сгорания, механическая прочность, влажность, содержание серы, и другие показатели) необходимо привязывать к экономической целесообразности извлечения полезного компонента в готовую продукцию при существующем уровне развития техники и технологии.

Список литературы

1. *Методика* расчета норм показателей качества углей и продуктов их переработки (с изменениями № 1 от 21.10.1993г. №-23-29-1124) / Министерство угольной промышленности СССР. – 1987
2. *Методика* расчета баланса продуктов обогащения по обогатительной фабрике и производственному объединению (временная) / ЦНИЭИуголь ; [утв. Министерством угольной промышленности СССР 26.11.1984]. – М., 1985.
3. *Типовые* методические указания по определению, учету, экономической оценке и нормированию потерь твердых полезных ископаемых и содержащихся в них компонентов при переработке минерального сырья / АН СССР ; [утв. Госгортехнадзором СССР 23.06.1987]. – М., 1987.
4. *Правила* охраны недр при переработке минерального сырья. ПБ 07-600-03 / [утв. Госгортехнадзором России 6.06.2003].
5. *Александров И.Л.* К вопросу о нормировании потерь твердых полезных ископаемых при первичной переработке (в порядке обсуждения) / И.Л. Александров // Рациональное освоение недр. 2012. № 3. С. 6-13.
6. *Инструкция* по определению и нормированию потерь угля (сланца) при переработке. РД 03-306-99. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 11.08.99 №62. Внесено изменение [РДИ 03-473(306)-02], утвержденное постановлением Госгортехнадзора России от 27.06.2002 №39.
7. *Инструкция* по учету добычи угля (сланца) и продуктов обогащения на шахтах (разрезах) и обогатительных фабриках Минтопэнерго России / [утв. Минтопэнерго России 21.01.1993].
8. *Удoviцкий В.И.* Моделирование подготовительных процессов переработки каменных углей / Кемеровоуиздат, 1998.