

- для обеспечения заданной производительности по извести необходимое количество известняка – 1852 тонны/месяц и необходимое количество природного газа – 196 м³/час=141120 м³/месяц;

- цена извести, производимой в шахтной печи, в зависимости от ее качества, – 2900 рублей за тонну и 3600 рублей за тонну.

По формуле (3) возможная прибыль, которую предприятие может получить от внедрения автоматизированной системы управления с применением нейросетевых алгоритмов:

$$P' = ((3600-998,07)*0,932*1050+(2900-998,07)*0,068*1050)- \\ ((3600-998,53)*0,853*1050+(2900-998,53)*0,147*1050) = 58443 \quad 4)$$

руб./месяц или 1402632 руб./год

Возможный экономический эффект, полученный за счет снижения среднеквадратического отклонения от заданного значения параметра «расход топлива» при управлении процессом и увеличения вероятности нахождения параметра «суммарное содержание СаО и MgO в извести» внутри допустимых границ изменения без учета сопутствующих улучшений, составляет 1'402'632 рублей в год.

Таким образом, показана целесообразность внедрения автоматизированной системы управления процессом шахтного обжига известняка с применением нейросетевых алгоритмов в реальные производственно-технологические условия.

Литература

1. Котелева Н.И. Автоматизированная система управления процессом шахтного обжига известняка с применением нейросетевых алгоритмов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2010.

2. Кричевский М.Л. Интеллектуальный анализ данных в менеджменте: Учеб. пособие / СПбГУАП. – СПб., 2005. – 208 с.

Кадыров Э.Д., Данилова Н.В., Симаков А.С.

Экономические аспекты автоматизации технологических процессов пирометаллургического производства

(СПбГГУ, Санкт-Петербург)

В настоящее время наиболее важным из направлений развития пирометаллургического производства является внедрение ресурсосберегающих технологий и оборудования, а также их дальнейшее развитие и усовершенствование. Пирометаллургическое производство меди включает в себя плавку рудного сырья в плавильных агрегатах до штейна, продувку воздухом в кон-

верторах до черновой меди и огневое рафинирование в анодных печах (рис. 1).

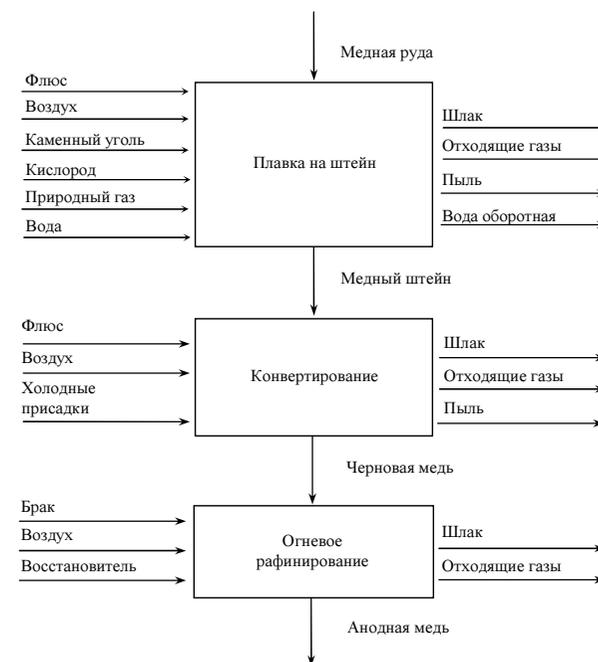


Рис. 1. Материальные потоки пирометаллургического производства

На схеме (рис. 1) представлены материальные потоки пирометаллургического производства; слева показаны материальные потоки вспомогательных материалов и энергоносителей, поступающих в производство; справа представлены выходные материальные потоки, сопутствующие медному производству. В направлении сверху вниз показан поток основного металло-содержащего продукта, в котором идет постепенное увеличение содержания меди. Как показывает опыт развития металлургического производства, в течение последних нескольких десятилетий технология переработки сульфидного сырья в плавильных агрегатах во всем мире совершенствуется на основе разработки и освоения автогенных процессов.

Высокая комплексность использования перерабатываемого сырья включает в себя: максимально высокое извлечение всех ценных составляющих (медь, никель, цинк, кобальт, сера, железо, благородные металлы, редкие и рассеянные элементы), использование силикатной составляющей руды, а также (что касается сульфидного сырья) использование внутренних энергетических возможностей. Известно, что сульфиды по своей теплотворной способности незначительно уступают таким видам топлива, как торф, углистые сланцы, дрова. А если сопоставить количество добываемых в год сульфид-

ных руд с количеством тепловой энергии, которая может быть получена при их сжигании, то можно получить цифру порядка нескольких миллионов единиц условного топлива. Важным элементом дальнейшего повышения сложности использования сырья является также использование вторичных энергоресурсов (физической теплоты отходящих газов, расплавленных шлаков и других нагретых до высоких температур продуктов и полупродуктов). Эти позиции становятся актуальными, если учитывать федеральные целевые программы «Энергосбережение России 1998–2005 гг.» и «Энергоэффективная экономика» на 2007–2010 годы и на перспективу до 2015 года, а также обязательства по сокращению выбросов парниковых газов – Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК) России ратифицировала в ноябре 2004 года.

Строгая постановка задачи управления пирометаллургическим производством практически невозможна: нельзя точно и достоверно назначить экономически и социально обоснованный критерий качества управления (Q), определить все ограничения, дать количественную характеристику возмущений. Трудно перечислить возможные управления и определить область их допустимых значений.

Относительно легко выразить цель управления отделением в весьма неконкретных терминах: обеспечить преобразование сырья в продукцию с наибольшим хозяйственно-социальным эффектом. Тогда критерий Q должен быть мерой этого эффекта, но у него много составляющих, часть из которых вообще не имеет метрических оценок.

Выделим из всего объема несколько конкретных составляющих поставленной цели управления: минимизация времени простоя оборудования, максимизация выхода конечного продукта заданного качества, минимизация засорения окружающей среды при заданном качестве отходящих газов.

Поставленную цель формализуем в аддитивном виде:

$$Q = Q_0 + \sum_{i=1}^n c_i \gamma_i - c_{n+1} (p - p_{\min}) - c_{n+2} (q - q_{\text{док}}) - \sum_{j,i=n+3}^{k,m} c_{ij} (k_{ij} - k_{ij}^*), \quad (1)$$

где Q – критерий эффективности; Q_0 – постоянная, определяющая знак критерия Q при нормальных режимах работы (например, чтобы выдерживалось неравенство $Q > 0$); c_i, c_{ij} – коэффициенты веса различных компонентов критерия: $i = 1, m; j = 1, k$; γ_i – выход i -го полезного компонента; p, p_{\min} – энергозатраты соответственно фактические и желаемые (минимальные); q и $q_{\text{док}}$ – производительность по отходам, выбрасываемым в окружающую среду (газ, шлак и др.), соответственно фактическая и регламентированная; k_{ij} и k_{ij}^* – соответственно текущий и заданный i -й качественный показатель j -го конечного продукта.

Для выбора этих компонентов необходимо произвести расчет себестоимости конечного продукта и выбрать только те компоненты, которые являются существенными. Заметим, что критерий (1) составлен так, что при росте γ_i он растет, а при росте p, q и при отклонении качества конечного продукта от заданного критерий эффективности Q – падает. Коэффициенты веса устанавливаются экспертами или определяются экономическими расчетами.

Таким образом, критерий Q однозначно связан с экономической эффективностью производства и, следовательно, его максимизация с помощью АСУТП даст дополнительную прибыль.

Математически цель создания интегрированной системы управления можно описать выражением

$$Q = \max. \quad (2)$$

Первым этапом декомпозиции задачи управления предприятием является разделение ее на подсистемы управления технологическими процессами и управления производством. Исходя из цели управления, определяются локальные критерии управления подсистемами (например, для системы нижнего уровня цель – максимальная точность стабилизации). Признаком декомпозиции может быть технологическая структура, которая первична относительно управляющей.

Возможен такой вариант иерархии управления:

1. Нижний уровень – системы стабилизации отдельных технологических параметров: температуры, расхода, давления и др. и снижения затрат на единицу продукции.

2. Средний уровень – системы оптимального управления отдельными технологическими комплексами в соответствии с критериями, оценивающими работу локальных объектов. В качестве основных управляющих воздействий используются изменения задания систем стабилизации. Разработаны автоматизированные системы управления качеством штейна процесса плавки медно-никелевого сульфидного сырья в печи Ванюкова, реализующие алгоритм управления, основанный на математической модели с применением аппарата нечеткой логики, созданной нами в работах [1–3].

3. Верхний уровень – система управления пирометаллургическим производством, которая реализует цель (2), например, созданная на основе расчета материальных потоков (рис. 1) пирометаллургического производства, позволяющая решать экономические вопросы, и опубликованная в [4].

Далее должна быть проведена идентификация технологических процессов как объектов управления. Здесь используется возможность описания процессов на языке математики, выбирается математический аппарат. Также исследуются проблемы управляемости и наблюдаемости объекта управления, методы получения информации и ее достаточность. Синтезируются системы управления всех уровней с помощью классических и компьютерных методик, рассматривается возможная техническая реализация систем всех уровней.

Таблица 1

Основные производственные параметры,
влияющие на технико-экономические показатели производства

№ п/п	Группа	Параметр
1	Руда Флюсы Присадки	Количество Качество
2	Энергоресурсы: Вода холодная Вода горячая Тепло Природный газ Сжатый воздух и др.	Качество снабжения энергоресурсами Расход общий по переделу. Расход структурными подразделениями. Невязки.
3	Технологический регламент переработки руды	Состав параметров узко специализирован для каждого технологического процесса
4	Готовая продукция Медный штейн Черновая медь Анодная медь	Количество Качество Затраты на производство
5	Режим эксплуатации технологического оборудования	Простои оборудования Наработка оборудования График ремонтов Статистика отказов
6	Отходы Шлаки Отходящие газы	Количество Качество

Такая последовательность проведения исследований позволит системно решать задачи, способствующие достижению поставленной цели – экстремизации критерия Q .

Проведя анализ технологической схемы (рис. 1), можно выделить основные производственные параметры, влияющие на результаты производственной деятельности. Основные производственные параметры представлены в таблице 1.

Очевидно, что все перечисленные параметры в конечном счете прямым или косвенным образом влияют на уровень затрат на производство и себестоимость готовой продукции. Учитывая то, что производственный процесс является непрерывным, уровень финансовых потерь, вследствие того, что на предприятии не выдерживаются те или иные производственные и технологические параметры, может достигать огромных значений. При этом потери –

это не только не полученная прибыль, но и затраты на его добычу, транспортировку, переработку.

Учитывая взаимосвязанность процессов на производстве, выход за нормальные пределы одного или нескольких параметров может привести, в конечном счете, к нарушению работы всего предприятия. Например, отказ какого-нибудь частотно-регулируемого электропривода конвейера может привести к остановке предприятия. От того, насколько быстро будут приняты меры по устранению аварии, будут зависеть показатели работы всего предприятия. При этом в оценке производственной ситуации, принятии и реализации управленческого решения могут быть задействованы десятки людей, от каждого из которых зависит доля конечного результата. Эффективно управлять таким сложным производственным процессом без средств автоматизации не представляется возможным.

При создании АСУТП можно рассматривать много экономических вопросов, начиная от затрат на программно-технические комплексы, создания математического аппарата и алгоритмов управления до потерь в основных и вспомогательных материальных потоках. Причем затраты на приобретение оборудования и услуг составляют мизерную часть по отношению к потерям материальных потоков в технологической линии производственного цикла. Именно поэтому в данной работе более подробно рассмотрены затраты на потери в технологической схеме, влияющие на себестоимость конечного продукта. Экономический эффект достигается путем внедрения интеллектуальной АСУТП за счет оптимального ведения технологического комплекса с выработкой задания на системы стабилизации отдельных технологических параметров.

Литература

1. Данилова Н.В. Автоматизированная система управления процессом автогенной плавки медно-никелевого сульфидного сырья на основе нечеткой логики: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2010. – 20 с.
2. Кадыров Э.Д. Построение нечеткой модели системы управления качеством продукта / Э.Д. Кадыров, Н.В. Данилова // Сб. тезисов докладов IV Международной конференции «Инновационные технологии автоматизации и диспетчеризации в горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях». – СПб., 2009. – С. 20.
3. Данилова Н.В. Применение нечеткой логики для разработки модели количественной оценки содержания меди в штейне // Проблемы рудной и химической электротермии: Сб. тр. Всероссийской науч.-техн. конференции с международным участием «Электротермия-2010». – СПб., 2010. – С. 172-177.
4. Данилова Н.В. Расчет материальных потоков пирометаллургического цикла переработки медного сульфидного сырья // Записки Горного Института. Полезные ископаемые России и их освоение. Т. 186. – СПб., 2010. – С. 176-180.