

Ключевые технологии повышения энергоэффективности энергоемких производств

Е. В. Крылова, Е. В. Жигулина, М. Е. Вихров, М. Я. Погребиский
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
e-mail: ele-krylova@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема повышения эффективности энергоемких производств для различных секторов экономики в России. Представлены результаты анализа ключевых технологий снижения энергоемкости производства на примере металлургического комбината.

Ключевые слова: энергоемкие производства; энергоэффективность; потенциал энергосбережения; промышленные предприятия; металлургический комбинат

I. ПРОБЛЕМА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Энергоемкие производства – производства с высокой долей затрат на топливо и энергию в издержках производства: электрометаллургия, нефтепереработка, нефтехимия и др.

Энергетические затраты являются одной из основных статей в структуре себестоимости производимой продукции крупных энергоемких предприятий. Следовательно, их снижение становится одной из приоритетных задач в рамках комплексной стратегии развития и функционирования промышленного предприятия. Необходимо отметить, что снижение потерь энергии в технологических процессах, помимо экономического, имеет большое экологическое значение, уменьшая тепловое загрязнение окружающей среды, что особенно важно в контексте глобального потепления.

На сегодняшний день многие энергоемкие промышленные потребители, нуждающиеся в снижении энергетических затрат в структуре себестоимости производимой продукции, зачастую не могут найти выгодные для себя низкие (или не растущие в течение длительного периода времени) тарифы на тепло- и электроэнергию, считают более экономически эффективным сооружение, например, собственного источника энергии. Это ведет к поиску все новых решений, связанных со снижением затрат на энергопотребление.

По данным энергетических балансов Росстата, наиболее энергоемким сектором национальной экономики России является промышленное производство, потребляющее более половины общего объема энергетических ресурсов (рис. 1).

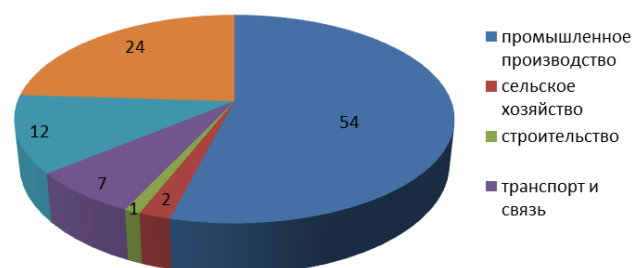


Рис. 1. Структура энергопотребления российской экономики по секторам

В соответствии с методикой определения энергоемкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах, высокие энергозатраты производства, увеличивающие энергоемкость продукции, возможны по следующим причинам:

- завышенная или заниженная загрузка основного технологического оборудования;
- нарушение технологических регламентов производства;
- несоответствие климатических условий внутри производственных помещений установленным технологическим требованиям функционирования оборудования;
- несоблюдение обязательных требований к режимам работы систем электроснабжения;
- методические погрешности в расчетах энергобалансов;
- несоблюдение требований к организации и порядку проведения работ по испытаниям;
- наличие ошибок в результатах оценки энергоемкости продукции;
- неиспользованный потенциал вторичных энергоресурсов.

Анализ тенденций развития промышленного производства и структуры производственных затрат показал, что при относительно низких ценах на энергоресурсы в России, по сравнению с ценами мирового рынка, затраты на топливо и энергию составляют от 10 до 40 % себестоимости продукции в зависимости от отраслевой принадлежности. В совокупном объеме промышленные предприятия потребляют 125–130 млн. т у.т., что составляет более трети произведенных в стране первичных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и свыше 50 % электроэнергии.

II. КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Одним из наиболее ярких примеров энергоемких производств, безусловно, является металлургический комбинат. Весьма энергоемкими являются электротехнологические процессы черной (выплавка сталей, получение ферросплавов) и цветной (получение алюминия путем электролиза и плавка алюминиевых сплавов) металлургии.

В таблице приведены данные об энергоемкости ряда электротехнологических процессов черной и цветной металлургии (удельный расход электроэнергии на тонну готовой продукции) по состоянию на 2016 г.

ТАБЛИЦА 1 ЭНЕРГОЕМКОСТЬ РЯДА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТАЛЛУРГИИ

Процесс	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	Мировой выпуск продукции, млн. т./год
Получение алюминия (электролиз криолито-глиноземных расплавов)	14 000...16 000	57,6
Получение магния (электролиз)	13 500...14 000	1,2
Выплавка конструкционных сталей в дуговых сталеплавильных печах	400...1000	470 ¹⁾
Получение ферросплавов	2000...10 000	35

Электротехнологические процессы металлургии вносят существенный вклад в мировое энергопотребление. Так, прямой расход электроэнергии на получение алюминия электролизом криолитоглиноземных расплавов составляет 3,7% от мировой выработки электроэнергии (на 2016 год в мире вырабатывалось 23,3 трлн. кВт·ч электроэнергии). Дуговые сталеплавильные печи (ДСП) потребляют около 1,4% процента всей производимой в мире электроэнергии (принимая средний удельный расход 700 кВт·ч/т).

В России, где в год вырабатывается 1,09 трлн. кВт·ч электроэнергии, электролизные установки для получения алюминия потребляют 5,1% электроэнергии, ДСП – 1,0% (доля электростали в общем производстве стали в России составляет 22%).

A. Оптимизации производственного процесса

Использование математических моделей для оптимизации производственного процесса металлургического комбината позволяет улучшить управленческий процесс и значительно снизить энергозатраты. Например, оптимизация расхода сырья на базе технологии Big Data на ОАО «Магнитогорском металлургическом комбинате» в 2016 г. в кислородно-конвертерном цехе. Предварительное тестирование показало, что экономия ферросплавов при использовании данного решения составляет в среднем 5%. Годовая экономия при этом превысила 275 млн. руб.

B. Технологии эффективного использования электроэнергии

Для реализации самых разнообразных технологических и производственных процессов, в том числе и энергоемких, электрическая энергия преобразовывается в другие виды энергии – механическую, тепловую, световую. Каждое из названных преобразований осуществляется соответствующим видом электромеханического, электро-технологического и осветительного оборудования, а именно электромеханическое преобразование осуществляется электрическим приводом, электротепловое преобразование – электротехнологическими установками, а электросветовое – осветительными устройствами. Каждому из названных преобразователей присущи свои ключевые технологии по повышению эффективности использования электроэнергии, которые кратко рассмотрены далее.

Представление о потенциале энергосбережения можно получить, рассмотрев средние объемы энергопотребления различными потребителями промышленных предприятий [3]. Так, около 60% всей электроэнергии, расходуемой в промышленности, потребляют электроприводы, 10% – электротехнологические установки, 10% – внутризаводской электрический транспорт, 10% – освещение производственных помещений, еще 10% приходится на потери энергии в системах электроснабжения (рис. 2).



Рис. 2. Структура потребления электроэнергии в промышленности

К эффективным средствам энергосбережения в сфере электротехнологий можно отнести:

- максимальное использование ЭТУ больших единичных мощностей, что снижает удельный

расход энергии на единицу вырабатываемой продукции;

- применение ЭТУ непрерывного действия вместо ЭТУ периодического (циклического) действия, что снижает потери тепловой энергии на разогрев ЭТУ;
- применение в конструкциях ЭТУ современных огнеупорных и теплоизоляционных материалов с малой теплопроводностью и малой теплоемкостью;
- вторичное использование тепла охлаждающей воды, нагретых деталей, уходящих газов;
- отыскание и поддержание оптимальных с точки зрения энергоэффективности режимов работы ЭТУ.

Рассмотрим применение этих средств в ЭТУ различных типов.

Дуговые сталеплавильные печи являются основными технологическими установками для переработки стального лома и получения качественных сталей. Емкость ДСП составляет от 1 тонны до 400 тонн. Энергоэффективность ДСП возрастает с увеличением емкости. Это связано с тем, что емкость печи и ее производительность в первом приближении пропорциональны кубу линейного размера, а площадь наружной поверхности печи и, следовательно, тепловые потери, – квадрату линейного размера. Получается, что при увеличении размеров печи производительность ее увеличивается значительно, а тепловые потери – в меньшей степени. Для примера, полный КПД 20-тонной печи составляет примерно 55%, а 200-тонной – до 70%. Более высокие значения КПД у крупных печей характерны не только для ДСП, но и для других типов электротермических установок.

Особо высокой производительностью и наименьшим удельным расходом электроэнергии характеризуются сверхмощные ДСП, удельная мощность которых составляет 400–1000 кВА/т (для печей емкостью 50 т и выше) против 200–250 кВА/т у «обычных» печей.

Следует также отметить, что сверхмощные ДСП работают на более длинных и более устойчивых дугах, вольтамперная характеристика которых ближе к линейной, в результате чего улучшается спектральный состав тока (снижается содержание высших гармонических составляющих), что ведет к уменьшению потерь в электрооборудовании и улучшению его использования.

Таким образом, очевидна тенденция расширения использования крупных и сверхмощных ДСП, обладающих наилучшими показателями энергоэффективности.

Важное значение имеет выбор электро-технологического режима плавки в ДСП и, прежде всего, рабочей длины дуг, на основе теплообменных моделей электрической дуги. Правильный выбор длины дуг позволяет оптимизировать процессы теплопередачи в ДСП, уменьшить долю излучения дуги, падающую не на расплавляемый металл, а на стены и свод печи. В

результате снижаются тепловые потери, а также увеличивается срок службы футеровочных материалов. Выбору оптимальных электротехнологических режимов ДСП посвящены работы российских и зарубежных авторов [1].

Ферросплавы, используемые в черной металлургии в качестве легирующих добавок, получают в специальных рудно-термических (РТП), или рудовосстановительных (РВП) печах. Такие печи также используются для получения фосфора, кремния, карбидов и в ряде других процессов. Процессы в РТП весьма энергоемки, удельный расход электроэнергии достигает 10 000 кВт·ч/т. и более.

Существенного улучшения энергетических показателей РТП можно добиться путем выбора и поддержания оптимального электрического режима плавки с адаптацией его к изменяющемуся качеству шихтовых материалов (руды). Внедряются усовершенствованные автоматизированные системы управления РТП с использованием статистических моделей технологического процесса, системы поддержки принятия решений в ферросплавном производстве. Такого рода разработки ведутся, в частности, ООО «Элтертехникс» (г. Москва), специалистами Санкт-Петербургского государственного горного университета [7].

Значительный объем отходящих газов в РТП и их высокая температура делают целесообразной утилизацию тепла отходящих газов. Имеется успешный опыт применения на ферросплавных заводах теплообменников «газ-вода» для обеспечения внутривоздушного теплоснабжения и горячего водоснабжения, газотурбинных и газопоршневых машин, работающих на отходящих газах РТП, для выработки электроэнергии.

При использовании крупных ЭТУ (ДСП, РТП, электролизеров), единичная мощность которых достигает сотен мегаватт, большое внимание уделяется снижению потерь в системах электроснабжения таких установок. Так, для уменьшения резистивных потерь применяют питание установки от сети повышенного напряжения (35 кВ вместо 6 (10) кВ). Для наиболее крупных установок используется так называемый «глубокий ввод», когда понизительная подстанция с напряжения 110 или 220 кВ организуется в непосредственной близости от установки.

Перспективным способом получения алюминия является электролиз его хлорида [2]. По сравнению с традиционным электролизом криолитоглиноземных расплавов, преимущества способа заключаются в возможности использования низкосортного алюминий содержащего сырья, снижении примерно на 30% удельного расхода электроэнергии при электролизе, исключении расхода высококачественных углеродсодержащих электродных материалов, применении менее дефицитных и агрессивных хлоридов вместо фторидов, повышении производительности труда, снижении капитальных вложений, приведенных затрат, стоимости конечной продукции и вредных выбросов в окружающую среду. Способ получения алюминия электролизом хлоридов предложен фирмой Alcoa (США)

еще в начале 1970-х годов, в настоящее время он еще не получил широкого распространения по сравнению с электролизом криолитоглиноземных расплавов, однако очевидные преимущества способа позволяют ожидать его гораздо более широкого применения в будущем.

С. Технологии эффективного использования тепловой энергии

Использование избыточного давления отходящих газов доменных и рудно-термических печей для выработки электроэнергии за счет внедрения газовых утилизационных бескомпрессорных турбин (ГУБТ) является одним из наиболее актуальных примеров энергосберегающих технологий в металлургии. Сегодня в России уже успешно работают несколько газовых утилизационных бескомпрессорных турбин, например, в ОАО «Северсталь». Основные трудности обеспечения эффективной работы ГУБТ вызваны низким качеством отечественных рудных материалов и кокса, несовершенством конструкции конусных загрузочных устройств, работой доменных печей с пониженным давлением газа на колошнике, неудовлетворительной очисткой газа перед ГУБТ. В то же время значительные успехи в области строительства и освоения установок по использованию потенциальной энергии отходящих газов для выработки электроэнергии достигнуты в Западной Европе и особенно в Японии, где практически на всех доменных и рудно-термических печах установлены газовые утилизационные бескомпрессорные турбины

Серийное производство ГУБТ налажено на Уральском турбинном заводе (УТЗ), разработавшем принципиально новую турбину осевого типа, более компактную и ремонтпригодную, с КПД на 10–15 % выше, чем у радиальной турбины. Первый образец ГУБТ–8 был установлен на Череповецком металлургическом комбинате за доменной печью №3, пущен в 1968 г. и успешно эксплуатируется в настоящее время.

Применение газовых утилизационных бескомпрессорных турбин – одно из эффективных мероприятий, позволяющих уменьшить энергоемкость производства чугуна и себестоимость металлопродукции в целом. Благодаря внедрению ГУБТ можно выработать без применения топлива до 20 кВт·ч электроэнергии на 1 т чугуна, компенсировать до 35–40 % энергозатрат на доменное дутье. Удельные капитальные вложения в строительство газотурбинных расширительных станций в зависимости от конкретных условий металлургических предприятий и параметров доменного газа в 2,0–3,5 раза меньше, чем на строительство ТЭЦ. Кроме того, ГУБТ легко встраивается в технологический цикл как вновь вводимого, так и действующего доменного оборудования. Фактически развиваемая турбиной мощность зависит от режима работы доменной печи и определяется расходом и давлением проходящего через турбину газа [8].

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была показана необходимость повышения энергоэффективности энергоемких производств, которая обуславливается следующими факторами:

- быстрое истощение невозобновляемых природных энергетических ресурсов, используемых на электростанциях для выработки электрической и тепловой энергии;
- ухудшение экологической обстановки в стране, определяемое тепловым, физическим, химическим, электромагнитным и радиоактивным загрязнением окружающей среды;
- низкая конкурентоспособность продукции российских производителей на мировых рынках из-за более высокой энергетической составляющей в себестоимости производимой продукции и услуг;
- изъятие территорий сельскохозяйственного и иного полезного назначения при строительстве электростанций, шахт, рудников, нефте- и газопромыслов и размещения отходов при работе электростанций.

На примере металлургического комбината показаны направления и приоритетные технологии снижения энергоемкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bowman, B., Kruger, K. ArcFurnacePhysics. Dusseldorf: Verlag Stahleisen GmbH, 2009. 245 p.
- [2] Ветюков М.М., Цыплаков А.М., Школьников С.Н. Электротехнология алюминия и магния. М.: Металлургия, 1987. 320 с.
- [3] Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение. М.: ИЦ «Академия», 2008.
- [4] Krouchinin A.M., Sawicki A. A method of modelling heat transfer and gasodynamic processes in arc plasma generators // High Temperature Material Processes JHTMP 2003. Vol. 7, Issue 4. P. 501-524.
- [5] Кручинин А.М. Физические основы теплообменной модели электрической дуги в электротехнологии/ Электротехнология в первом десятилетии XXI века: Сборник докладов научно-технического семинара, посвященного 100-летию проф. М.Я. Смелянского. М.: Изд. дом МЭИ, 2013. С.55-77.
- [6] Кондрашов В.П., Лыков А.Г., Погребиский М.Я., Савалык Н.А., Сапрыкин А.И. Пути развития и повышения технико-экономических показателей руднотермических электропечей / Электротехнология в первом десятилетии XXI века: Сборник докладов научно-технического семинара, посвященного 100-летию проф. М.Я. Смелянского. М.: Изд. дом МЭИ, 2013. С. 126-142.
- [7] Васильев В.В. Система управления рудно-термической печи с использованием гармонических составляющих тока электродов // Записки Горного института. Т. 192. 2011. С. 157-160.
- [8] Сперкач И.Е. Перспективы внедрения газовых утилизационных бескомпрессорных турбин // Сталь. 2004. № 2. С.62–64.