

№ 2418

Л.А. Шульц

Энерго-экологический анализ эффективности металлургических процессов

Учебное пособие

№ 2418

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра теплофизики и экологии металлургического производства

Л.А. Шульц

Энерго-экологический анализ эффективности металлургических процессов

Учебное пособие

Допущено учебно-методическим объединением по образованию
в области металлургии в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по направлению 150400 – Металлургия



Москва 2014

УДК 669.1.013
Ш95

Рецензенты:

канд. техн. наук, доц. *В.Л. Гусовский* (ООО «Институт Стальпроект»);
канд. техн. наук, доц. *В.А. Муравьев*

Шульц, Л.А.

Ш95 Энерго-экологический анализ эффективности металлургических процессов : учеб. пособие / Л.А. Шульц. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2014. – 267 с.
ISBN 978-5-87623-765-1

В учебном пособии приведена информация по энерго-экологическим показателям основных производств черной металлургии (агломерационные установки, коксовые печи, доменные печи, кислородно-конвертерный и электродуговой процессы выплавки стали, альтернативные новые технологии производства железа, прокатные и кузнечные печи со стадийным сжиганием топлива). Эта информация включает сравнительный анализ энерго-экологических достижений в России и за рубежом за последние два десятилетия. Оцениваются также возможные результаты и направления развития черной металлургии в первой половине XXI в. Особое внимание уделено достижениям по снижению вредных выбросов, включая и стойкие органические загрязнители (СОЗ). В пособии приведены данные по наилучшим доступным технологиям в металлургии ЕС.

Предназначено для магистров НИТУ «МИСиС» и других металлургических вузов, обучающихся по направлениям «Металлургия» и «Защита окружающей среды», а также инженерно-технических работников металлургических предприятий.

УДК 669.1.013

ISBN 978-5-87623-765-1

© Л.А. Шульц, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	7
1. Современные методы очистки газов. Техническое нормирование, основанное на показателях наилучших доступных технологий и гармонизированное с европейским природоохранным законодательством	14
1.1. Современные методы очистки газов	14
1.2. Стандарты EMAS, ISO серии 14 000, некоторые другие нормативы и их реализация в России	18
1.3. Нормирование на основе изучения и анализа удельных показателей производства	23
Контрольные вопросы	26
2. Энерго-экологическая оценка металлургического производства России в конце XX в.	27
2.1. Энергетическая оценка	27
2.2. Экологическая оценка	47
2.3. Оборот лома черных металлов и его энерго-экологическая оценка	64
Контрольные вопросы	75
3. Долгосрочный прогноз развития металлургии массового производства стали	76
Контрольные вопросы	109
4. Наилучшие доступные технологии по материалам Европейской комиссии государств – членов ЕС	111
4.1. Общая информация о производстве стали и проблемах экологии в Европе ЕС-27	111
4.2. Агломерационные установки	131
4.3. Производство окатышей	143
4.4. Коксовые печи	148
4.5. Доменные печи	159
4.6. Производство стали	172
4.6.1. Конвертерное производство стали	172
4.6.2. Производство стали в электродуговых печах	188
4.7. Сравнительный анализ уровня выбросов в воздух черной металлургии ЕС и России в начале XXI в.	209
4.8. Новые методы производства железа и их энерго-экологические особенности	213

Контрольные вопросы.....	224
5. Доступные энерго-экологически эффективные технологии нагрева металла в прокатном и кузнечном производствах по разработкам в России	226
5.1. Печи для безокислительного нагрева стали перед пластической деформацией и сравнительная оценка показателей их работы	231
5.2. Выбор доступных эффективных путей реализации безокислительного необезуглероживающего высокотемпературного нагрева стали в топливных печах	245
Контрольные вопросы.....	257
6. Основные доступные направления и возможные результаты повышения энерго-экологической эффективности черной металлургии в первой половине XXI в.	258
Библиографический список	260
Приложение. Сокращения и определения.....	263

ПРЕДИСЛОВИЕ

Постепенное истощение природных ресурсов и загрязнение окружающей среды (ОС) отходами деятельности человека требуют совершенствования промышленного производства путем внедрения ресурсосберегающих технологий. Такие технологии в конце XX в. было принято называть безотходными (реже – малоотходными), подразумевая под этим понятием «метод производства продукции, при котором все сырье и энергия используются наиболее рационально и комплексно в цикле сырьевые ресурсы – производство – потребитель – вторичные ресурсы и воздействие на окружающую среду не нарушают ее равновесия». Авторами такой формулировки были: Европейская экономическая комиссия ООН (1984 г.), лауреаты Нобелевской премии академики Н.Н. Семенов, И.В. Петрянов-Соколов, Б.Н. Ласкорин и др. Позднее ООН по промышленному развитию ЮНИДО (англ. UNIDO – United Nations Industrial Development Organization) была разработана программа ESID (Ecologically Sustainable Industrial Development), утвержденная резолюцией ООН в 1992 г., – модель современного и будущего промышленного развития, удовлетворяющего потребности человека и сохраняющего устойчивость экосистем. Одновременно появился новый синоним ресурсосберегающей технологии – «экологически чистое производство» (ЭЧП), понимая под этим не какое-то производство с конкретными показателями, а производство, которое имеет перспективы на будущее и может непрерывно совершенствоваться. При лицензировании новых предлагаемых технологий в настоящее время все больше используется сравнение с лучшими из возможных и уже осуществленных на практике технологий – ВАТ (Best Available Technology).

Важнейшие показатели ЭЧП и ВАТ: расход энергии, материалов и величина выбросов в производстве. Расход энергии является наиболее важной характеристикой производства, в которой суммируются не только энергетические показатели, но отражаются и ресурсные, и экологические. Помимо новых технологических решений в настоящее время все большее значение приобретает повышение эффективности использования вторичных энергетических и материальных ресурсов (ВЭР и ВМР) традиционных технологий. ВЭР в черной металлургии могут достигать 50 % от первичной энергии. Особенно эффективно рекуперативное использование как ВЭР, так и ВМР, т.е. их использование в том же производстве, в котором они образовались.

В отличие от металлургических производств ЕС и США в черной металлургии России заметно меньшее внимание уделяется использова-

нию ВЭР, сокращению организованных, а особенно неорганизованных выбросов и предотвращению образования чрезвычайно вредных стойких органических загрязнителей (СОЗ) группы диоксинов и фуранов. На все эти вопросы в настоящей работе обращается особое внимание.

Учебное пособие написано по материалам НИТУ «МИСиС», ФГАОУ ВПО УрФУ, справочного документа по наилучшим доступным технологиям для черной металлургии ЕС от 8 марта 2012 г. «Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production», переведенного канд. техн. наук А.Г. Юдиным, и трудов автора.

Основные разделы учебного пособия посвящены материалам одноименного с ним курса для магистров «Энерго-экологический анализ эффективности металлургических процессов» по направлению «Металлургия», профиль «Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей». Оно также может быть полезно при изучении соответствующих разделов дисциплин для инженеров и бакалавров «Вторичные энергоресурсы и энергосбережение», «Энерго-экологический анализ и малоотходные технологии» и др. по направлениям «Металлургия» и «Защита окружающей среды».

Для облегчения понимания информации, содержащейся в гл. 4, в приложении приведен переводной глоссарий сокращений и определений.

Автор выражает искреннюю благодарность канд. техн. наук, доц. В.Л. Гусовскому и канд. техн. наук, доц. А.Е. Лифшицу (ООО «Институт Стальпроект») за их замечания и советы, которые были учтены при написании и окончательном редактировании рукописи.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях при оценке прогрессивности технологий различных производств энерго-экологический фактор становится приоритетным. В связи с этим можно говорить о новом для производства понятии – его энерго-экологическом качестве, определяемом количеством использованного основного природного ресурса – энергии и экологической чистотой ее получения и потребления.

Для России с ее обширными и суровыми климатическими условиями энергетический фактор в оценке производства имеет особое значение. Большие затраты энергии на компенсацию неблагоприятных природных условий и транспорт ставят РФ в неравные конкурентные условия с другими странами. И только коренные технологические перемены позволят решить специфические для страны проблемы. В связи с этим для оценки качества новых технологий большое значение имеют общенациональные составляющие энергозатрат производства.

Разработка новых подходов к оценке энергозатрат и воздействия различных технологий на ОС важны и в связи с тем, что человечество уже вплотную подошло к необходимости широкого освоения нетрадиционных источников энергии. Возможно, более полный учет слагаемых общенациональных затрат и воздействия на ОС уже в настоящее время может дать достаточные основания для их ускоренного развития и применения.

Комиссией ООН одобрен новый принцип оценки производства – по анализу энергетических затрат и отходов производства по всему жизненному циклу изделия, выражаемый афоризмами «от колыбели до могилы» или «от колыбели до колыбели». Они отражают методику расчета в основном эксплуатационных затрат – энергии, выбросов, сбросов и других отходов в технологической цепи: добыча сырья, его подготовка и доставка, производство, реализация продукции, переработка или захоронение отходов. Очевидно, такой подход еще не позволяет в полной мере учесть все энергозатраты и отходы. Более полно экологический принцип оценки производства можно выразить афоризмом «от природы до природы», понимая под этим энерго-экологический анализ жизненного цикла изделия с учетом не только эксплуатационных, но и амортизационных энергозатрат и отходов.

Только такой принцип расчета потребления энергии и образования отходов не вступает в противоречие с основными законами природопользования:

- законом снижения энергетической эффективности (законом убывающей отдачи) природопользования;
- законом неустранимости отходов и побочных воздействий производства;
- законом постоянства количества отходов в технологических цепях (созвучен с предыдущим).

В относительно длительный интервал времени, в течение которого технологические принципы и применяемое сырье не претерпевают коренных изменений, энергозатраты неуклонно начинают увеличиваться, а удельный уровень отходов на единицу потребляемой энергии стабилизироваться на каком-то устойчивом уровне. Уже сейчас можно говорить о постоянном снижении энергоотдачи в топливодобывающей промышленности: начиная с 1980-х годов каждые 10–15 лет энергоотдача добычи ископаемых топлив в среднем снижается в 1,5 раза.

Таким образом, перспективы развития общества тесно связаны с разработкой новых технологических решений, с выбором новых направлений в технике, отвечающих и энергетическим, и экологическим требованиям. Комплексный энерго-экологический анализ – основа наиболее объективного и количественного выражения качества технологий, базовая составляющая инженерного заключения о перспективности того или иного направления в промышленности.

Основной технологический принцип повышения энерго-экологической эффективности предприятия – это рекуперативный принцип использования различных отходов, т.е. в том же процессе, на том же предприятии, где они образовались. К сожалению, не все отходы имеют ту или иную энергетическую или ресурсную ценность и их рециклинг имеет экономическое обоснование. Огромное количество дисперсных и газообразных отходов, не представляющих существенной экономической ценности, опасны для здоровья человека и природной среды. Для эффективного подавления таких отходов особую актуальность представляет экологическая культура управления предприятиями, опирающаяся на систему мониторинга различных отходов, на результаты комплексного экологического обследования предприятий – экомониторинга, на экологическое законодательство страны. Снижение энергетических затрат в производстве экономически выгодно, предотвращение (сокращение) загрязнения окружающей природной среды безусловно также выгодно. Пока же

энергетические и экологические составляющие производства имеют совершенно разную экономическую основу. Если производство и потребление энергии жестко контролируется его экономическими составляющими, то экологический контроль часто носит лишь символический характер. К сожалению, из-за отсутствия на производстве должной системы контроля, учета и анализа природоохранных составляющих, на предприятиях не всегда есть возможность управлять ими, что фактически на современном этапе развития ставит решение экологических задач в первый ряд решения энерго-экологических проблем производства.

В резолюции IV Всероссийской конференции (18 ноября 2008 г., Москва, Кремль) «Новые приоритеты национальной экологической политики в реальном секторе экономики» наиболее радикальным и абсолютно правильным и давно ожидаемым направлением деятельности по оздоровлению экологической обстановки в стране и совершенствованию системы государственного регулирования в этой сфере являются предложения:

1. Признать правильным предложение по установлению порядка экологического нормирования по показателям наилучших доступных технологий.

2. Признать, что существующая система экологического нормирования не адаптирована к развитию и модернизации производства, приводящему к снижению уровня воздействия на окружающую среду.

3. Признать, что существующая система экологического нормирования является тормозом для экологически ориентированного инновационного производства.

4. Отказаться от практики индивидуальных разрешений и выделения целевых зон (промышленные, рекреационные, природные) с различными нормативными показателями уровня воздействия.

Участники IV Всероссийской конференции просили Правительство Российской Федерации, Государственную Думу и Совет Федерации Федерального Собрания «форсировать принятие решений о поэтапном переходе к современной системе экологического нормирования и контроля, основанной на внедрении наилучших доступных технологий и гармонизированной с европейским природоохранным законодательством».

При этом подчеркивалось, что нормативы должны быть стимулирующие, а не загоняющие в тупик промышленные предприятия. Система положительной мотивации – самое слабое звено финансирования и налогообложения природоохранной сферы. Применяемые

в западных странах льготные ставки налогообложения и кредиты, ускоренная амортизация экологически привлекательных инвестиционных проектов в России не используются. В резолюции конференции в очередной раз отмечалось, что «необходимо разработать систему позитивных стимулов для предприятий, направленную на стимулирование снижения уровня негативного воздействия на природную среду и экономию природных и энергетических ресурсов».

Очевидно, что тема настоящей работы созвучна теме IV Всероссийской конференции по экологической политике в нашей стране. Не противоречит она и материалам V аналогичной конференции, прошедшей в Кремле 3–5 декабря 2013 г.

Основой стратегии устойчивого развития любого государства является переориентация производства на ресурсосберегающие технологии. Причем, как показала международная экологическая конференция 3–4 июня 1992 г. в Рио-де-Жанейро, корень решения техногенной экологической проблемы не столько в создании вспомогательной индустрии эффективных очистных аппаратов и систем, сколько во внедрении новых технологий, обеспечивающих уменьшение потребления энергии и сырья при использовании меньших площадей и снижение выделений углеродсодержащих (парниковых), токсичных и канцерогенных соединений.

Для выбора концепции создания нормативов показателей различных технологий и оборудования уместно остановиться на высказываниях известных ученых:

– В.А. Коптюг [1]: «Изъятие природных ресурсов, которое мы осуществляем, ущерб окружающей среде, который мы наносим, должны быть переведены в денежные единицы. Утрата этого природного капитала должна учитываться на всех стадиях. Она должна входить в цену предлагаемого продукта и вычитаться из валового национального продукта. В связи с этим развивается специальное, новое направление науки – экологическая экономика, которая и призвана учитывать прирост и утрату этих двух капиталов. Вот тогда действительно в стоимость автомобиля надо будет вложить все те затраты, которые сделаны при добыче и переработке сырья, изготовления автомобиля плюс затраты, которые отражают ущерб природе».

– Ф. Содди [2]: «Все, что необходимо человеку, в конечном счете удовлетворяется пригодной энергией (эксергией)...».

– В.И. Вернадский [3]: «...Необходимо и можно свести к единой (энергетической) единице все; только при этом условии можно подойти к полному количественному анализу той потенциальной энергии стра-

ны, которая может дать удобное для жизни представление о пределах заключающегося в данной стране природного богатства ...».

– Г. Одум, Э. Одум [4]: «Энергия – всеобщая основа, источник и средство управления всеми природными процессами, базис культуры и всей деятельности человека... Каждый проект (должен быть) обоснован с точки зрения его энергетической эффективности... Экологам необходимо научиться описывать окружающую среду и проекты, связанные с ее изменениями в понятиях энергоэффективности... Эффективность должна рассчитываться как отношение энергии, вложенной в продукцию, ко всем затратам энергии, включая окончательную энергетическую ценность – эксергию, купленных товаров и услуг...».

Приведенные высказывания достаточно близки по своей сути. Оценивая эффективность нового производства, необходимо учитывать затраты по всему жизненному циклу изделий и только при прочих равных условиях могут быть учтены лишь затраты технологических и конструктивных изменений того или иного конкретного процесса. В настоящее время все известные технологии в целом пока, к большому сожалению, еще не вышли из рамок традиционных последних 20–50 лет, что во многих случаях допускает их сравнение и по усеченным чисто технологическим показателям. Очевидно, для действительно совершенно новых технологий, особенно при изменении энергетической их базы, такое сравнение совершенно будет недопустимым.

В общенациональном масштабе, как и в масштабе отдельных отраслей (т.е. в крупных системах) при характерном для настоящего времени (эпохи) научно-техническом развитии энергетические и экологические составляющие хорошо коррелируются друг с другом. Например, при выработке 1 кВт·ч в большой энергетике и на ТЭЦ отраслей в настоящее время в атмосферу выбрасывается около 7...10 г/(кВт·ч) вредных веществ (15–25 лет назад их количество составляло 12...16 г/(кВт·ч)).

Основная причина снижения натуральной удельной массы выбросов в энергетике в 1980–1990 гг. – расширение применения природного газа в результате «газовой паузы». Последние 10–15 лет удельные выбросы в энергетике, как и доля применения природного газа (62...65 %) в топливном энергетическом балансе страны, оставались практически на одном уровне – 7...10 г/кВт·ч.

Сравнивая экологическую ущербность (величину приведенной массы выбросов, обычно выражаемой через произведение натуральной массы выбросов на коэффициент их опасности, приходящейся на единицу продукции, выработанной или использованной

энергии) потребляемой энергии в металлургии с ущербомкостью энергии в тесно взаимодействующих с ней системах – электроэнергетике и стране в целом, пришли к выводу, что ущербомкость потребляемой энергии в этих системах в первом приближении может быть принята: 1990–1995 гг. – 525 прив. кг/т у.т. (условного топлива), 2005–2012 гг. – 450 прив. кг/т у.т. Это позволяет в какой-то ограниченный период проводить достаточно обоснованную оценку выбросов вредных веществ в национальном и отраслевом масштабах по соответствующим энергетическим показателям [5].

Рассматривая последовательно энергетическую и экологическую стороны металлургического производства, необходимо заметить, что желание охватить как можно полнее и шире фактический материал пришло в противоречие с закрытостью информации о работе заводов. Экологическая информация стала коммерческой тайной. В России доступность материалов о работе металлургических заводов, прежде всего их экологическая составляющая, особенно усложнилась после 1995 г., что, правда, не могло серьезно повлиять на обоснованность сделанных в результате приведенного здесь анализа общих выводов. На наших металлургических заводах, в связи с перестройкой страны, за последние 10–15 лет пока мало что принципиально изменилось в энергетическом обеспечении и экологическом совершенствовании.

Для металлургии России энерго-экологические проблемы, в том числе и в относительно отдаленный период, в настоящей работе в значительной степени рассмотрены, как и рекомендуется ООН, для всего цикла производства металла, включая добычу сырья, транспортные расходы и пр. В целом подходы России и ЕС к решению аспектов энерго-экологической проблемы металлургического производства идентичны. Характерны, например, такие общие выводы по решению данных проблем:

- очистка газов, как основное средство защиты ОС, на данном этапе технологического развития металлургического производства в целом уже практически мало решает поставленные ей проблемы;

- все в большей степени решения энерго-экологической проблемы должны опираться на наилучшие технологии, важнейшими показателями которых являются: энергоэффективность, непрерывность, подавление образования и использования материальных и тепловых отходов, включая и загрязненный атмосферный воздух, и удаляемые сверх меры загрязненные технологические газы в основном рабочем процессе.

Поскольку основное воздействие на ОС проявляется через загрязнение атмосферного воздуха, т.е. через газовые выбросы, в работе анализируется именно эта основная экологическая составляющая металлургического производства. Сначала приведены различные аспекты энерго-экологических проблем металлургии России. Далее рассмотрена соответствующая информация Комиссии ЕС. Проведено сравнение различных газовых выбросов и сделаны выводы. Особое внимание обращено на оценку возможного изменения мировой энергетической базы, на все большее и неуклонное развитие в будущем технологий на основе использования электроэнергии – в частности, производства электростали.

Важнейшая проблема газовых выбросов – стойкие органические загрязнители (СОЗ) – в России относительно мало изучена. Поэтому в настоящей работе анализ по СОЗ Комиссии ЕС приведен с наибольшей полнотой.

1. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ГАЗОВ. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ, ОСНОВАННОЕ НА ПОКАЗАТЕЛЯХ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ГАРМОНИЗИРОВАННОЕ С ЕВРОПЕЙСКИМ ПРИРОДООХРАННЫМ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВОМ

1.1. Современные методы очистки газов

Газоочистка – удаление или нейтрализация примесей, содержание которых в газах приводит к потерям сырьевых ресурсов, снижению (качества) ОС, технологических процессов, продукции, управления и эксплуатации оборудования.

Большинство современных промышленных газоочистных установок представляют собой относительно сложные многозвенные, многоступенчатые системы, которые обеспечивают автоматическое управление работой всего газоочистного комплекса с учетом параметров эксплуатации обслуживаемого им производственного процесса, транспортирование и кондиционирование газов по температуре и составу перед основным аппаратом газоочистки, утилизацию теплоты газов. Капитальные затраты на сооружение полноценной системы газоочистки и расходы на ее эксплуатацию составляют 10...30 % от соответствующих затрат для основного оборудования. Более простыми и дешевыми являются методы нейтрализации или подавления образования нежелательных примесей в газах в процессе осуществления основного технологического процесса. Однако их использование, например в металлургии, пока ограничено.

Допустимые остаточные концентрации примесей в газах после очистки устанавливаются различными нормативами. В индустриально развитых странах действуют нормативы, регламентирующие предельно разрешенные концентрации (ПРК) вредных веществ в отходящих газах различных топливоиспользующих установок. ПРК относятся или к 1 м^3 газов при заданных условиях, или к 1 г у.т. , или к 1 МДж освобожденной в зоне горения химической энергии топлива.

В России ПРК твердых частиц, оксидов серы и азота, монооксида углерода установлены для энергетических котлов (ГОСТ Р 50831–95), для оксидов азота нагревательных печей (ГОСТ Р 50591–93). Например, для котлов на газообразном топливе норма выбросов оксидов

азота 1,26 кг/т у.т. (125 мг/м^3 , $0,043 \text{ г/МДж}$, при нормальных условиях и коэффициенте расхода воздуха $n = 1,4$). Действуют и различные отраслевые нормативы, ограничивающие содержание примесей в газах. Например, в металлургии допустимое содержание твердых веществ в доменном газе ограничивается 10 мг/м^3 , содержание H_2S в коксовом газе – $1...3 \text{ г/м}^3$ (по нормам ЕС $0,1...0,5 \text{ г/м}^3$).

История газоочистки начинается с середины XIX в. Первоначально ее применение было связано с непосредственной защитой органов дыхания от вредных примесей в воздухе. С этой целью использовали сухие или мокрые фильтрующие повязки. В период Первой мировой войны 1914–1918 гг. русским ученым-химиком Н.Д. Зелинским был изобретен первый в мире сухой аппарат адсорбционно-фильтрующего действия – противогаз с активированным углем. В 1883 г. англичанин К. Клаус запатентовал метод производства серы из сероводорода, который в настоящее время находит все большее применение, например при очистке коксового газа.

Первый патент на рукавный фильтр получен в 1852 г. Промышленные системы газоочистки появились лишь в десятых-двадцатых годах XX в. В СССР первый электрофильтр построен на заводе «Красный Выборжец» в г. Ленинграде в 1925 г. Причем он имел чисто технологическое применение.

Лишь со второй половины XX в. приоритетное назначение очистки газов связывается с защитой ОС. Доля ее загрязнения антропогенными выбросами в общем мировом балансе в этот период достигла, %: твердые частицы – $6...10$, NO_x – $7...10$, SO_x – $40...60$, CO – $90...95$.

В целом влияние очистки газов на мировое загрязнение ОС ограничено. Однако применение газоочистки решающим образом влияет на локальное загрязнение промышленно развитых территорий, особенно металлургической отрасли, занимающей в нашей стране первое место по количеству вредных выбросов (ВВ) в атмосферу. Так, в 1965–1970 гг. среднегодовое удельное значение ВВ в черной металлургии СССР составляло около 100 кг/т стали. В 2001 г. величина удельных выбросов на металлургических комбинатах России снизилась до $15,8...45,2 \text{ кг/т}$ стали. Достигнутые минимальные значения выбросов на металлургических заводах ЕС – $2...3 \text{ кг/т}$ стали.

По комплексному показателю вредного вещества – его приведенной массе (произведению фактической массы вредного вещества на значение коэффициента опасности) – к наиболее опасным традиционным для металлургии загрязняющим атмосферу веществам в черной металлургии (ЧМ) можно отнести высокодисперсную пыль

(дым, сажу), оксиды азота и серы, в цветной металлургии (ЦМ) – оксиды серы. На долю приведенной массы неканцерогенной пыли, NO_x , SO_x , CO , например, в ЧМ приходится около 75 % (в коксохимическом производстве – 45 %, в агломерационном производстве – 55 %, доменном, сталеплавильном и прокатном производствах – 83 %, всего на долю CO – 6 %); канцерогенной пыли, бенз(а)пирена, бензола, фенола, сажи, фтора и его соединений, сероуглерода, сероводорода, цианистого водорода, аммиака, углеводородов и легких органических соединений (ЛОС) – 24 %, прочих – 1 %. В других отраслях доля приведенной массы неканцерогенной пыли, NO_x , SO_x , CO составляет, %: ЦМ – 51, электроэнергетика – 96, химическая и нефтехимическая промышленность – 18, автотранспорт – 50, угледобыча – 67, добыча нефти и газа – 83.

В настоящее время основные промышленные аппараты и способы очистки классифицируются следующим образом:

сухие пылеуловители – механические (осадительные камеры, инерционные и центробежные аппараты), фильтрующие (тканевые, зернистые и волокнистые фильтры);

электрофильтры – однозонные (сухие горизонтальные и вертикальные, мокрые), двухзонные;

мокрые пылегазоуловители – промыватели (форсуночные скрубберы, скрубберы Вентури, динамические газопромыватели), центробежно-барботажные аппараты, жидкопленочные аппараты (центробежные, ударно-инерционные и тарельчатые);

сорбционные – абсорбционные, адсорбционные;

каталитического или *гомогенного* дожигания и нейтрализации.

В основе работы любого пылеулавливающего аппарата лежат физические механизмы осаждения частиц. В случае применения механических сухих пылеуловителей в соответствии с их названием превалирует действие гравитационных, инерционных или центробежных сил, под действием которых частицы перемещаются и выводятся из газового потока. При фильтрационной очистке частицы пыли задерживаются либо непосредственно материалом фильтра, либо слоем уже осевшей на нем пыли. В электрофильтрах заряженные в результате ионизации газовых молекул частицы под влиянием электрического поля осаждаются на электродах. При мокрой очистке газов от пыли происходит захват частиц жидкостью на межфазной поверхности, развитие которой зависит от способов организации движения потоков газа и жидкости, их диспергирования.

Выбор аппарата для очистки газов от пыли (дыма, сажи) определяется прежде всего размерами частиц. В зависимости от размера частиц рекомендуется применение следующих аппаратов: пылевые камеры – для частиц с размерами более 50 мкм, циклоны – 10 мкм, форсуночные скрубберы – 2 мкм, тканевые фильтры, скрубберы Вентури – 0,1 мкм, электрофильтры – 0,01 мкм.

Аппараты сорбционного действия предназначены для улавливания вредных газообразных составляющих. При сорбции происходит физическое, химическое или физико-химическое взаимодействие газов с растворами или поверхностью. Абсорбция – поглощение газов растворами. Адсорбционные методы очистки газов основаны на поглощении примесей пористыми телами-адсорбентами. Каталитические методы нейтрализации примесей связаны с химическим превращением компонентов на поверхности пористого катализатора. Гомогенные процессы нейтрализации и дожигания протекают в смесях газов, обычно при температуре выше 1000 К.

По характеру образования, методам очистки и нейтрализации металлургические выбросы условно можно разделить на три группы.

Группа выбросов I. К этой группе относятся выбросы возгонного и диспергационного происхождения. В высокотемпературных металлургических процессах практически все выбросы так или иначе связаны с возгонными компонентами металлошихты. Средний размер возгонных частиц оксидов железа сталеплавильных пылей (шламов) составляет 0,5...1,0 мкм, цветных металлов – порядка 0,1 мкм. Наиболее эффективное улавливание таких высокодисперсных частиц возможно при применении очистных аппаратов фильтрационного действия (обычно рукавных фильтров) или электрофильтров. Остаточная концентрация высокодисперсной пыли за этими фильтрами составляет 5...30 мг/м³, затрата энергии на очистку с учетом амортизационных и других энергозатрат – 1,5...2,5 Вт·ч/м³. Значительно уступают им по тем же показателям системы мокрой очистки с использованием труб Вентури – 50...150 мг/м³ и 10...12 Вт·ч/м³.

В созданных за последние годы комплексных новых системах очистки технологических и аспирационных газов от металлургической пыли в основном используют рукавные фильтры.

Группа выбросов II. В эту группу входят кислотообразующие газы, важнейшие из которых оксиды серы и азота.

Для очистки дымовых газов от оксидов серы широко применяют мокрые и полусухие методы очистки (известковый и известняковый). К перспективным методам десульфурации газов можно отнести: при низких

концентрациях SO_2 (менее 2 %) – карбамидный (абсорбционный метод очистки газов от оксидов серы и азота, с использованием водных растворов карбамида – мочевины), при высоких концентрациях – процесс Клауса (основан на каталитической реакции при 120...150 °С взаимодействия сероводорода и диоксида серы). При концентрациях SO_2 более 4 % в ЦМ распространен метод производства серной кислоты, в основе которого предварительное каталитическое окисление SO_2 в SO_3 .

Приоритетными методами подавления образования оксидов азота в настоящее время являются технологические методы. В их основе – снижение максимальной температуры факела, например, путем использования стадийного сжигания топлива или рециркуляции продуктов горения. Используются также методы каталитической или гомогенной нейтрализации оксидов азота аммиаком или карбамидом ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$).

Группа выбросов III. Третья группа – это горючие ВВ: оксид углерода, сажа, цианистый водород, аммиак, диоксины и фураны, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ и пр.), углеводороды, ЛОС. В основе их нейтрализации – каталитическое или гомогенное окисление кислородом воздуха. Наибольшее предпочтение отдается высокотемпературному некаталитическому дожиганию газов с использованием теплоты технологических процессов [5, 6].

1.2. Стандарты EMAS, ISO серии 14 000, некоторые другие нормативы и их реализация в России

В 1992 г. в Великобритании был введен национальный стандарт British Standard for Environmental management systems (BS 7750) – первый европейский стандарт по экологическому менеджменту, который стал использоваться и в других стандартах Европы. На его основе было разработано руководство (правила) ЕС по экологическому менеджменту и экологическому аудиту – EMAS (Eco-Management and Auditing Scheme), принятое Советом ЕС в 1993 г. В Великобритании экологический аудит рассматривался, в первую очередь, как управленческий инструмент контроля на предприятиях.

С середины 1995 г. действует изданное Европейским Сообществом новое постановление о добровольном участии производственных предприятий в совместной системе экологического менеджмента и контроля производства на соответствие экологическим нормам ЕС, что также чаще кратко называется EMAS.

Важно заметить, что объектом совершенствований систем, созданных согласно EMAS, является не только сама система экологи-

ческого управления, но и государственные регуляторы природоохранной деятельности. Системы, созданные в соответствии с рекомендациями EMAS, содержат конкретные требования к используемым технологиям.

Разработанная специализированной организацией ООН по промышленному развитию (ЮНИДО) программа устойчивого экологически безопасного промышленного развития ESID по существу акцентирована на создание «экологически чистого производства» (ЭЧП). Причем в основу соответствия производства ЭЧП закладываются не конкретные численные значения его показателей, а принцип сравнения с лучшими из возможных технологий, принцип непрерывного улучшения показателей по величине энергозатрат, по величине выбросов и сбросов материалов.

В рамках Генерального соглашения по тарифам и торговле на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Международная организация по стандартизации приступила к разработке Международных стандартов по экологическому менеджменту – стандартов ISO серии 14 000. Основой для их создания послужил стандарт BS 7750, а также уже существовавшие международные стандарты по системам контроля качества продукции – стандарты ISO серии 9000. В настоящее время стандарт ISO серии 14 000 стал действующей экологической нормой во всем мире. На основании принятых стандартов ISO в России Госстандарт издал стандарт ГОСТ Р ИСО 14001–98 и др.

Стандарт EMAS (экологический аудит ЕС) предъявляет более высокие требования к производству, чем ISO серии 14 000 (14 001 и др.). К их основным различиям можно отнести следующие:

1) EMAS является частью действующего в ЕС законодательства, стандарт ISO представляет лишь частноправовое соглашение;

2) в рамках экологического аудита ЕС в противоположность стандарту ISO осуществляется государственный контроль (ограничивается рамками Европейского Сообщества);

3) EMAS требует соблюдения всех действующих экологических законов, ISO – лишь призывает к этому и ожидает их выполнения;

4) EMAS предъявляет следующие требования: непрерывная модернизация производства и повышение вклада предприятия в охрану ОС, а в соответствии с ISO требуется только непрерывное улучшение системы экологического менеджмента;

5) система стандартов ISO серии 14 000 ориентирована не на количественные параметры, конкретные требования к воздействию производ-

ства на ОС (концентрация вредных веществ, объем выбросов и сбросов и т.д.) и не на технологические, например, распространенное в ЕС требование использовать «наилучшую доступную технологию», а является системой экологического управления, экологически ориентированного управления на уровне предприятия или компании;

б) следование стандарту ISO предполагает уменьшение неблагоприятного воздействия на ОС на различных уровнях организации, национальных и международных уровнях, стандарт EMAS предполагает то же самое, но он более конкретен и жестче в отношении экологического контроля и воздействия на развитие технологического производства.

В целом в стандартах ISO, EMAS нет противоречивых толкований, они дополняют друг друга, что особенно важно в металлургическом производстве, для которого в настоящее время еще не созданы экологические нормативы конкретных технологических процессов.

Созданные в соответствии со стандартом ISO 14 001 (спецификации системы экологического менеджмента с рекомендациями по его использованию) системы экологического управления могут быть сертифицированы (зарегистрированы) на соответствие с этим международным стандартом. Такая сертификация уже является одним из непременных условий доступа продукции на международный рынок.

Дополнительные стимулы для сертификации по ISO: улучшение технологии управления в целом, а не только экологического менеджмента; экономия энергии и других ресурсов; улучшение «образа» компании в области соблюдения природоохранного законодательства, что увеличивает ее конкурентоспособность на рынке производителей и привлекательность предприятия для возможных инвесторов (прежде всего иностранных).

В настоящее время при наличии экспортной составляющей требуется обязательный переход предприятия к Системе управления окружающей средой (СУОС). В частности, ЕС уже декларировано, что он намерен допускать на рынок стран – членов ЕС только компании, сертифицированные по стандартам ISO серии 14 000 (система экологически ориентированного управления на уровне предприятия или компании). В ближайшее время вероятно принятие ЕС правил, жестко определяющих весь цикл производства продукции – от сырья до ее использования и последующей утилизации. Этим обстоятельством дополнительно подчеркивается необходимость разработки новых обобщенных показателей упомянутой выше продукции, в том числе показателей ее энерго-экологического качества (ЭЭК). Они позволят для ранжирования предприятий по их экологической привлекательности вместо почти сотни показателей использовать

всего один показатель – ЭЭК. Аналогичные показатели для сквозного энерго-экологического анализа – топливно-технологическое число (ТТЧ), топливно-экологическое число (ТЭЧ) или топливно-техноэкологическое число (ТТЭЧ) разработаны уже более десяти лет в ФГАУ ВПО УрФУ под руководством академика В.Г. Лисиенко.

В 1998 г. в РФ в качестве государственных стандартов были приняты международные стандарты ISO 14 001, ISO 14 004, ISO 14 010, ISO 14 011 и др. В соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 14 001–98 система управления ОС – это часть общей системы административного управления, которая включает организационную структуру, планирование, ответственность, методы, процедуры, процессы и ресурсы, необходимые для разработки, внедрения, реализации, анализа и поддержания экологической политики. Необходимо подчеркнуть, что в нашей стране стандарты ISO в большей мере «декларация о желаемом улучшении экологической политики и экологического состояния производства» в отличие от стран Западной Европы, США или Японии. Эффективность их применения в значительной степени зависит от экологической культуры страны, в которой они применяются.

В первые годы XXI в. в России получили сертификат соответствия системы экологического менеджмента требованиям международного стандарта ISO 14 001–96: Магнитогорский металлургический комбинат (ОАО «ММК») получил первый сертификат в 2004 г., Новолипецкий металлургический комбинат (ОАО «НЛМК») – в 2002 г., Череповецкий металлургический комбинат (ЧерМК), в настоящее время ОАО «Северсталь» – в 2001 г. и др.

В 2003 г. на ОАО «ММК» был подписан документ под названием «Экологическая политика». Документ провозгласил главный принцип: экологический менеджмент является существенным элементом управления и одним из главных приоритетов для устойчивого развития предприятия.

Ежегодно ОАО «ММК» на содержание природоохранных объектов расходует более 800 млн руб. К 2010 г., согласно принятой концепции развития, практически полностью заменили мартеновский способ выплавки металла на экологически более чистое, и, по данным официального сайта ОАО «ММК», менее трудозатратное электросталеплавильное производство.

На ОАО «НЛМК» в 2002 г. создано новое структурное подразделение – Дирекция по промышленной экологии. Она объединила в своем составе действующее на предприятии управление по охране ОС, центр химических технологий, цех переработки металлургиче-

ских шламов, цех очистки сточных вод, шламоперерабатывающий цех, а также участки по утилизации маслоотходов листопрокатных цехов. Стоимость программы модернизации ОАО «НЛМК», рассчитанной до 2006 г., аналогична программе развития, принятой на ОАО «ММК», и оценивается в 1,1 млрд долл. По данным пресс-релиза с официального сайта ОАО «НЛМК», в 2004 г. увеличено производство собственной электроэнергии до 40 % (до 2000 г. было только 20 %), внедрены уникальные в России энергосберегающие технологии. За последующие 5 лет комбинату удалось на 12 % снизить энергоемкость производства. В 2004 г. удельная энергоемкость ОАО «НЛМК», например, была одной из самых низких среди отечественных предприятий с полным металлургическим циклом – 6,55 Гкал (27,4 ГДж, 936 кг. у.т.) на 1 т производимой стали.

Одним из направлений природоохранной деятельности комбинатов ОАО «ММК», ОАО «НЛМК», ОАО «Северсталь» является экологическое образование, которое становится важным условием решения экологических проблем комбинатов. Например, на ОАО «Северсталь» в течение двух лет по российско-норвежской программе «Чистое производство» прошли обучение многие специалисты предприятия. В нынешних условиях основным принципом этой программы является принцип «трех Р» (Pollution, Prevention, Pays) – в вольном русском переводе «предотвращать загрязнения выгодно». Общий экологический эффект от предложений, разработанных по программе «Чистое производство» на ОАО «Северсталь», составил около 117 млн руб. Конечно, достигнутый экономический эффект является не столько результатом снижения экологического ущерба, сколько результатом энергосбережения, удельного снижения потребления природных ресурсов и использования отходов.

Различные программы модернизации, включающие элементы экологического совершенствования металлургического производства, были приняты и на Нижнетагильском металлургическом комбинате (ОАО «НТМК»), и на ОАО «ГМК «Норильский Никель», и на ряде других предприятий. В частности, российско-норвежская программа «Чистое производство» активно внедряется на ОАО «ГМК «Норильский Никель». Ее конечной целью является соответствие системы экологического менеджмента требованиям международных стандартов серии ISO 14 000. Как и на ОАО «Северсталь», на ОАО «ГМК «Норильский Никель» стремятся сконцентрировать усилия на решении экологических проблем без чрезмерных затрат, руководствуясь основным принципом программы «предотвращение загрязнения выгодно».

По данным пресс-релиза с официального сайта ОАО «ГМК «Норильский Никель», по окончании модернизации в 2008 г. выбросы диоксида серы сократились на 90 %, и предприятие стало одним из самых экологически чистых металлургических производств Европы.

Выводы по п. 1.2. Подводя итоги краткого рассмотрения стандарта серии ISO 14 000 и, в целом, признавая важность модернизации производств его средствами, включая и сопутствующими этому стандарту средства программы «Чистое производство», нельзя не обратить внимание на ее некоторый рекламный и показательный характер, направленный не столько на защиту природной среды, сколько на повышение экологического имиджа участвующего в процессе «экологизации» предприятия или компании, ее конкурентной устойчивости на международном рынке продукции. Безусловно, должно быть сочетание стандарта типа ISO и стандарта, содержащего конкретные требования к используемым технологиям, как, например, в EMAS.

1.3. Нормирование на основе изучения и анализа удельных показателей производства

Такой новый для России подход к нормированию выбросов теплоэнергетическими предприятиями предлагается в работе [7].

Отмечается, что ни в одном городе России не удалось реализовать условия, определяющие предельно допустимые выбросы (ПДВ), согласно которым «суммарный выброс каждого загрязняющего атмосферу вещества от всех источников должен быть менее ПДК». Для государства и отрасли в таких условиях в основу решения проблемы выбросов должен стать показатель максимального экологического эффекта на единицу капитальных затрат, что требует другого подхода к нормированию ПДВ. В правила установления ПДВ предлагается включить показатель экологического совершенства энергетической установки – массовый выброс загрязняющего вещества, приходящийся на единицу сожженного условного топлива при номинальной мощности, например котла. Такие требования в форме удельных выбросов загрязняющих веществ действуют в ЕС, Японии и США. Они соответствуют стандарту EMAS. Причем предлагается поэтапно ужесточить нормативы удельных выбросов по мере готовности новых передовых технологий сжигания топлива с минимальным образованием вредных веществ, оснащенных современными системами очистки газов и малосточными системами. Удельный выброс вредного вещества должен служить основным показателем экологическо-

го совершенствования энергетической установки, и его рекомендуется использовать в качестве основного параметра, регламентирующего вредные выбросы веществ в атмосферу, например от ТЭС, что позволяет с наибольшим экологическим эффектом расходовать средства как в отрасли в целом, так и в отдельных регионах.

По мнению авторов статьи [7], переход на нормирование по удельным выбросам даст возможность:

- обеспечить максимальный экологический эффект на региональном и ведомственном уровнях на единицу инвестиций;
- отказаться от громоздкой системы нормирования ПДВ;
- ввести простую и эффективную систему контроля за выполнением установленных удельных нормативов.

В металлургии важнейшими нормативными показателями являются значения удельных суммарных затрат энергии и образования отходов, отнесенных к единице (обычно к 1 т) выплавленной стали или полученного проката, а также к 1 т у.г. (условного топлива).

В свою очередь, для адекватной оценки достигнутых результатов необходимо создание нормативной базы, соответствующей как уровню развития национальной экономики, так и уровню научно-технических мировых достижений.

В соответствии с Федеральным законом от 1 июня 2003 г. «О техническом регулировании» (взамен Госстандартов, Госнаadzора и пр.) такая новая нормативная база требований к процессам производства, продукции и утилизации отходов должна была быть разработана до 2010 г. и введена в действие в ближайшие 3–5 лет. Причем экологические, скорее всего международные, нормативы – технические регламенты, видимо, будут отнесены к обязательным, подлежащим строгому соблюдению, показателям печей и энергетического оборудования; энергетические нормативы – к добровольным, хотя и тесно связанные с экологическими характеристиками.

Прежде всего необходимо подчеркнуть особую важность создания нормативно-технической базы природоохранной деятельности в металлургии в части нормирования газовых выбросов. В правила установления допустимых выбросов должны быть включены экологические требования к функционированию оборудования, являющегося непосредственным источником выделения загрязняющих веществ.

Требования по снижению выбросов в соответствии с ПДВ необходимо предъявлять прежде всего к оборудованию, которое не соответствует техническим нормативам. Такой подход дает возможность максимально использовать апробированные технические решения

по снижению выбросов, поэтапно ужесточать нормативы по мере готовности новых технологических решений производства.

Принципиально различны удельные энергетические и экологические показатели в металлургии разных стран. Так, расход энергии на производство стального проката с учетом добычи, подготовки и транспортировки твердых шихтовых материалов в начале 1990-х годов на передовых предприятиях разных стран (например, Германия, Япония, Франция, США, Польша, Бразилия, Китай) составил 19...21 ГДж/т проката. Средние показатели по отраслям разных стран изменялись в пределах 22...55 ГДж/т. Причем в Германии средний показатель производства был хуже показателей передовых предприятий всего на 20 %, в Японии – на 40 %, во Франции – на 50 %, в США – на 70 %, в Польше – на 80 %, в Бразилии – на 100 %, в Китае – на 160 %, или в среднем в 1,2–2,6 раза. Очевидно, в развитых странах не столько высок и различен уровень уже внедренных передовых научно-технических достижений, сколько уровень системной реализации их в производстве предприятий отрасли в целом.

Россия по соотношению энергетических показателей лучших предприятий и среднеотраслевых находится примерно на уровне Бразилии и Китая, т.е. мы также с успехом владеем современными технологиями; в значительном числе случаев эти технологии разработаны в нашей стране, однако должного распространения в отрасли они пока не получили.

По данным НПО «Энергосталь», на начало 1990-х годов среднеотраслевые выбросы и выбросы передовых предприятий различались в 2–3 раза, минимально достижимые выбросы по всем переделам до 10 раз оказались ниже среднеотраслевых, даже проектные данные по выбросам для строящихся предприятий могли различаться в 3–5 раз. Еще более значительны различия при сравнении наших предприятий с зарубежными. Например, удельные выбросы вредных веществ на ряде заводов Германии и Австрии изменяются в пределах 0,5...3,5 кг на тонну стали, т.е. более чем на порядок ниже наших среднеотраслевых показателей [5].

В России, как уже отмечалось, разброс экологических показателей значителен, даже если они введены в Государственные стандарты. Например, из условно печного ГОСТ Р 50591–93 (для печей) и ТЭС ГОСТ Р 50831–95 (для котлов) следует, что норма выбросов оксидов азота при сжигании газообразного топлива при температуре подогрева воздуха до 350 °С в одном случае составляет 5...6,6, в другом – 1,26 кг/т у.т., т.е. различается в 5 раз. Очевидно, существующий ГОСТ Р 50591–93 мало стимулирует совершенствование сжигания