

## СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Х. РОЗЕМАН, Б. ШТРАНЦИНГЕР, М. БАЛЬДЕРМАН, О. ХАЙНЕМАН\*

*Установленные новой немецкой энергетической политикой целевые показатели требуют больших усилий в области энергосбережения и соответствующих изменений во всех сферах общественной жизни. Для энергоемких производств черной металлургии эффективное использование энергоресурсов в производственных процессах — важный фактор успеха, который необходимо постоянно улучшать. С этой целью предприятия внедряют системы регулирования потребления энергии в соответствии со стандартом DIN EN ISO 50001 для систематической регистрации расхода энергии на всех производственных стадиях. Для обеспечения непрерывного улучшения энергоэффективности агрегатов с помощью таких систем проводится, в том числе, постоянное выявление потенциала экономии. В настоящее время системы регулирования потребления энергии являются условием для ограничения или возмещения энергетических налогов для энергоемких производств.*

*Ключевые слова: энергосбережение, системы регулирования потребления энергии, расход энергии, потенциал экономии, энергетический налог, фактор успеха.*

Реализуемая в Германии энергетическая политика ставит амбициозные цели: к 2050 г. доля возобновляемой энергии должна увеличиться до 80 %. Одновременно предусматривается значительное сокращение потребности в энергии и ее эффективное использование в различных областях общественной жизни. Для достижения заявленной высокой доли возобновляемой энергии необходимо систематически интегрировать различные технологические изменения. Энергоэффективность для предприятий черной металлургии — важный фактор успеха: затраты на производство стали зависят, в том числе, и от цен на энергоносители. В связи с этим многие предприятия отрасли, кроме систем управления качеством, охраной окружающей среды и труда, внедряют также системы управления потреблением энергии в соответствии со стандартом DIN EN ISO 50001. Подобные системы позволят предприятиям регистрировать свое потребление энергии на различных производственных стадиях, идентифицировать допол-

нительный потенциал экономии энергоносителей и постоянно добиваться повышения энергоэффективности. В настоящее время такие системы являются необходимым условием для ограничения налогов и сборов при закупке электроэнергии и горючих веществ энергоемких производств. В данной статье рассмотрен производственный опыт предприятий черной металлургии по применению систем управления расходом энергии.

### Постановка цели по улучшению энергоэффективности

Принятые Федеральным правительством целевые показатели и допущения новой энергетической политики представлены в **таблице**. Из представленных данных видно, что, с одной стороны, доля возобновляемой энергии в производстве электроэнергии с 25 % увеличится до 35 % к 2020 г. и до 80 % — к 2050 г. Также ожидается, что энергопродуктивность — отношение валового внутреннего продукта (ВВП) к расходу первичных энергоносителей — вместо 1,1 % для периода 2000–2010 гг. в будущем будет улучшаться ежегодно в среднем на 2,1 %, что приведет к удвоению энергопродуктивности к 2020 г. по сравнению с 1990 г. [2]. Таким образом, энергетическая политика ставит перед обществом серьезные вызовы. Достижение запланированной экономии энергии требует прежде всего существенных технических изменений во всех областях общественной жизни и экономики.

\*Х. Роземан, руководитель проекта; дипл. инж. Б. Штранцингер, руководитель отделения «Газовая техника и энергетическое хозяйство», Институт производственных исследований Общества немецких металлургов, Дюссельдорф; дипл. инж. М. Бальдерман, руководитель энергетического хозяйства, компания Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH, Дуйсбург; дипл. инж. О. Хайнеман, менеджер в области энергетики, компания ArcelorMittal Eisenhüttenstadt GmbH, Айзенхюттенштадт; holger.rosemann@bfi.de

Целевые показатели немецкой энергетической политики [1, 2]								
Годы	Климат	Возобновляемая энергетика		Эффективность				
	Парниковые газы (по сравнению с 1990 г.), %	Доля электроэнергии, %	Общая доля, %	Первичная энергия, %	Электроэнергия, %	Энергопроизводительность, %	Транспортирование, %	Санация зданий, %
2020	-40	35	18	-20	-10	Повышение до 2,1 % в год	-10	Удвоение темпов роста с 1 до 2 %. До 2020 г. — сокращение расхода тепла на 20 %
2030	-55	50	30	↓	↓			
2040	-70	65	45					
2050	-80 ... -95	80	60	-50	-25		-40	До 2050 г. — сокращение потребления первичных энергоносителей на 80 %

Показатели энергоэффективности стали решающим критерием в первую очередь для промышленных предприятий, который используют для оценки производственных процессов и продукции. Он также является решающим фактором конкурентоспособности. В связи с этим многие предприятия объявляют повышение энергоэффективности важной целью своего развития. Энергоэффективность также является решающим фактором экологической совместимости промышленных товаров и устойчивого развития предприятий.

Компания ThyssenKrupp AG в своем «онлайн»-бизнес-сообщении так объясняет ситуацию: «Концерн ThyssenKrupp AG рассматривает устойчивое развитие как важный инновационный двигатель и непрерывный процесс по улучшению экономического, экологического и социального развития предприятия... Бизнес-направление Steel Europe завершило сертификацию системы регулирования потребления энергии при производстве стали в соответствии с международным стандартом ISO 50001. При очищенных примерно 1,7 т CO<sub>2</sub> на 1 т нерафинированной стали производство стали компанией существенно ниже среднего мирового уровня» [3].

Для концерна Volkswagen AG профессор докт. М. Винтеркорн (Martin Winterkorn) поясняет: «Новая энергетическая политика начинается для нас в собственном доме. Поэтому мы поставили перед собой цель до 2018 г. на всех предприятиях концерна Volkswagen AG сэкономить 25 % энергии» [4].

Подобного рода амбициозные цели по сокращению расхода энергии и выбросов CO<sub>2</sub> требуют

систематического анализа использования энергоресурсов во всех производственных процессах конкретного предприятия, а также целенаправленной реализации планов действий по улучшению энергоэффективности всех технологических стадий. Эти задачи поддерживаются стандартизованными системами регулирования потребления энергии, в структурированном виде реализуются внутри предприятия и в систематике переносятся на работников. В связи с этим необходимо более подробно рассмотреть создание такой системы регулирования потребления энергии на металлургическом предприятии.

#### Энергетические потоки и управление энергией в черной металлургии

В настоящее время на металлургических предприятиях с полным циклом для производства стали агрегаты эксплуатируются и непрерывно оптимизируются с целью полного использования сырья и горючих веществ. При этом формируется и энергетический комплекс, в котором побочные продукты металлургии руды и дальше используются в виде материалов и энергоносителей. Прежде всего это касается горючих технологических газов, которые образуются при производстве кокса, чугуна и стали. Они используются внутри металлургического предприятия и для производства электроэнергии. На рис. 1 показаны энергетические потоки и использование технологических газов на металлургическом предприятии полного цикла с коксохимическим производством и электростанцией с объемом производства примерно

12 тыс. т чугуна в сутки. Основные агрегаты представленного металлургического предприятия — доменные печи с воздушонагревателями, кислородные конвертеры, коксохимическое производство и электростанция. На металлургическом предприятии из угля и кокса образуются три вида технологических газов: коксовый, колошниковый и конвертерный.

В данном примере (см. рис. 1) самый большой энергетический поток мощностью около 653 МВт формируется через генерируемый в доменной печи колошниковый газ, который используется для обогрева функционирующего в регенеративном режиме воздушонагревателя и в смеси с конвертерным газом для нагрева коксовых батарей. Оставшаяся часть, которая не была использована на металлургическом предприятии, поступает на электростанцию для генерации электроэнергии. Таким образом, полезная энергия технологических газов практически полностью используется в комплексе агрегатов. Система регулирования потреблением энергии металлургического предприятия направлена на предотвращение факельных потерь, сглаживание пиков потребления и минимизацию закупок природного газа и электроэнергии на стороне.

Средний удельный расход восстановителей, необходимых для производства чугуна в доменных печах Германии, показан на рис. 2. В настоящее время в качестве восстановителя железной руды в доменной печи и неотъемлемого компонента реакции преимущественно используют уголь и кокс.

За последние годы расход восстановителей постоянно сокращался благодаря многочисленным техническим мероприятиям и технологическим открытиям и оптимизациям. В 2011 г. расход кокса, угля и других восстановителей в среднем составил всего 493,4 кг/т чугуна. Это значение на несколько процентов превышает технически предельный минимальный уровень. Минимальная величина при использовании углерода в качестве восстановителя определена в экспертизе профессора Шольца (Scholz) [7] на уровне 414 кг углерода, или, соответственно, примерно 465 кг кокса на 1 т чугуна. Таким образом, очевидно, что доменные печи уже функционируют с достаточно

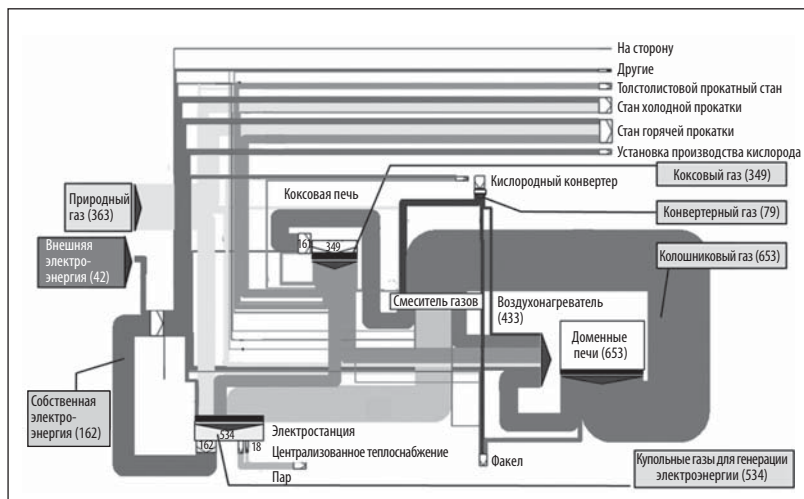


Рис. 1. Энергетические потоки и использование технологических газов на интегрированном металлургическом предприятии с коксохимическим производством, доменной печью и электростанцией [5]

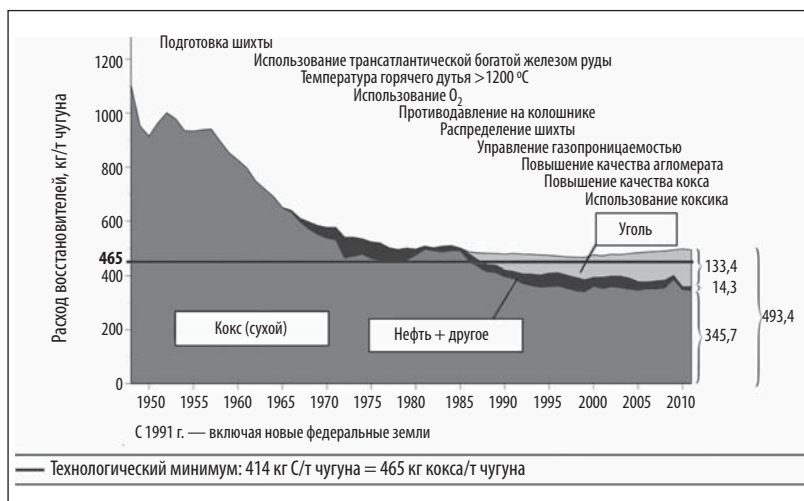


Рис. 2. Удельный расход восстановителей для производства чугуна в доменной печи в Германии и важнейшие технологические прорывы [6, 7]

высокой эффективностью, близкой к предельно возможному техническому уровню.

Многие металлургические предприятия за последние годы уже внедрили различные системы управления качеством, охраной окружающей среды и труда и сертифицировали их в соответствии с требуемыми инструкциями. Подобные системы управления необходимы для структуризации и оптимизации внутрипроизводственных процессов, выполнения правовых требований, делегирования задач при одновременном обеспечении непрерывности, прозрачности и прослеживаемости. Полученные результаты необходимо проверять с целью постоянного совершенствования технологического процесса.

Регулирование потреблением энергии является дополнительным необходимым для внедрения на предприятиях компонентом интегрированных

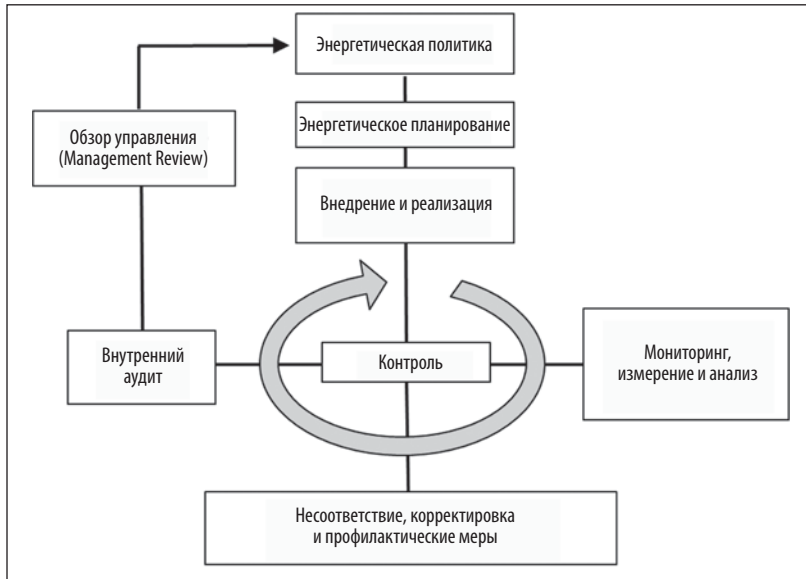


Рис. 3. Упрощенная модель системы регулирования потребления энергии [8]

систем управления (стандарт DIN EN ISO 50001) [8]. Чаще всего интеграция не требует больших затрат, особенно если на предприятии уже существует система управления охраной окружающей среды (стандарт DIN EN 14001): стандарты обеих систем по своей структуре в значительной степени согласуются. В последнее время система регулирования потребления энергии востребована в качестве условия для возврата переплаченных сумм налога. Важными аспектами деятельности энергоемких производств также являются ограничение сбора в соответствии с законом об альтернативной энергетике и возмещение максимального налога. В перспективе эффективность системы будет подтверждена ежегодным снижением энергоемкости производственных отраслей на 1,3 %. С этой целью в будущем планируется использовать совместно количественные целевые показатели

экономии с возможным возмещением энергетического налога.

Упрощенная схема принципа функционирования системы регулирования потребления энергии приведена на рис. 3. При этом управление трансформируется в контур возвращающихся действий.

На начальном этапе руководство определяет цели энергетической политики и разрабатывает подробное планирование действий в энергетической области. Затем оно инициирует и реализует ряд мероприятий, направленных на улучшение энергоэффективности в конкретной производственной области. Результат действий контролируется и проверяется с помощью соответствующих измерений. Несоответствия при необходимости

корректируются. Дополнительно инициируются профилактические меры по предотвращению возникновения отклонений. При внутреннем аудите определяется эффективность предпринятых мер и подтверждается соответствие протекающих процессов требованиям стандартов. На заключительной стадии с помощью функции Management-Review проводится полная проверка и оценка контура управления. На основании полученных результатов определяются новые цели и меры для их достижения.

Таким образом реализуется непрерывный процесс улучшения энергоэффективности предприятия. Следует отметить задачи и функции уполномоченных систем регулирования потребления энергии и энергетических групп, которые должны играть основную роль и быть движущей силой происходящих в организации преобразований.



Рис. 4. Необходимые измерения для балансировки энергетических потоков

Основным аспектом системы регулирования потребления энергии являются измерения для балансировки всех энергетических потоков. Основные данные, которые необходимо принимать во внимание при балансировке и анализе энергетических показателей, приведены на **рис. 4**.

Для оценки данных необходимо создать систему, с помощью которой расход энергии можно максимально прозрачно соотносить с соответствующими агрегатами, продуктами и параметрами влияния конкретного предприятия. Максимально дифференцированный анализ данных является основой для быстрого распознавания набора действий и потенциала по сокращению расхода энергии и соотношения по эффективности параметров влияния. Необходимо определить подходящие и хорошо понятные энергетические показатели эффективности, с помощью которых можно оценить состояние агрегатов и успешность предпринимаемых мер. Тем не менее определить оценочные показатели подобного рода достаточно трудно. Опыт многих предприятий черной металлургии показывает, что на такие показатели эффективности часто оказывают влияние различные параметры, и их нельзя рассматривать как однозначные. В связи с этим существует потребность в дальнейшем обмене опытом о применении соответствующих энергетических показателей эффективности в черной металлургии.

Балансировка и измерение расхода энергии предоставляют возможность проводить эффективный мониторинг потребления энергии с целью обеспечения сотрудников в рамках их зоны персональной ответственности соответствующей информацией и исходными данными для принятия решения. Современные системы, работающие в режиме реального времени, могут просто и точно оптическим способом провести подготовку энергетических данных и интегрировать их в функцию регулирования или управления [9]. Таким образом, это служит фактором мотивации и поддержки для принятия сотрудниками решений, направленных на оптимизацию энергопотребления.

#### **Возможности по экономии энергии на металлургическом предприятии с полным циклом**

На производственных стадиях металлургического предприятия существует множество различных возможностей для экономии энергии.

1. Эффективные базовые компоненты и производственные средства:

- КПД моторов, насосов, вентиляторов, осветительной техники;
- сеть производственных средств (сжатый воздух, пар, холод, тепло, технические газы);
- энергетические расходы на транспортирование.

- 2. Отдельные производственные процессы:
  - ресурсосберегающее производственное оборудование отдельных технологических стадий;
  - эффективная управляющая и регулирующая техника (в том числе и для частичной загрузки);
  - горелочные и теплотехнические устройства (рекуператор, регенератор, КПД);
  - использование тепла отходящих газов (отопление, производство электроэнергии).

- 3. Оптимизированное соединение агрегатов:
  - управление нагрузкой, профиль нагрузки (пиковая нагрузка, время ожидания, холостой ход);
  - предотвращение выхода параметров за предельные значения, брак, транспортирование, складирование;
  - техническое обслуживание (интервалы для останова оборудования, очистки и др.);
  - закупка энергии (Европейская энергетическая биржа, Биржа по торговле выбросами CO<sub>2</sub>, качество горючих веществ).

При оценке мероприятий рекомендуется не только оценить величину соответствующего потенциала экономии энергии, но и реально определить возможность их осуществимости с затратами на подготовку проекта, а также установить приоритеты их реализации.

Уже при выборе базовых компонентов можно получить экономию энергии (например, благодаря выбору двигателя с повышенным КПД). При применении насосов и вентиляторов с режимом частичной нагрузки часто можно добиться оптимального расхода энергии. Современная осветительная техника также претерпела серьезные изменения и представляет собой значительный потенциал для экономии энергии.

Оптимизация технологических процессов находится в центре внимания деятельности предприятия и предоставляет большой потенциал экономии энергии. На теплотехническое оборудование и агрегаты обработки давлением часто можно повлиять и технологически изменить только в очень узких пределах. Новые возможности экономии энергии открываются, например, за счет утилизации тепла отходящих газов или генерации собственной электроэнергии.

Дальнейшей оптимизации на уровне предприятия можно добиться за счет соединения отдельных агрегатов. Существующие на производственном уровне системы для управления нагрузкой в сетях распределения электроэнергии, пара и технологических газов с минимизацией пиковых нагрузок в перспективе и дальше следует целенаправленно оптимизировать. При этом в настоящее время все большую роль играют потенциально возможные трансформации энергетических потоков. К тому

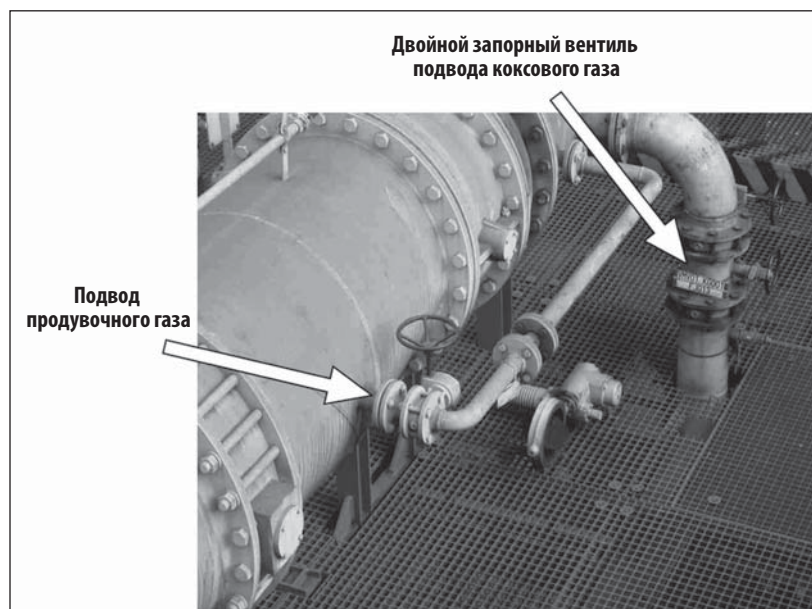


Рис. 5. Меры по сокращению энергетических потерь на горелке сжигания избыточного газа на металлургическом предприятии компании НКМ в Дуйсбурге

же становятся востребованными инструменты предварительного планирования производства и потребления энергии для целенаправленной минимизации затрат при закупке энергоносителей.

**Показательные примеры.** Ниже приведено описание примеров, демонстрирующих потенциал в регулировании расхода энергии для интегрированного металлургического завода [10]. Устройство сжигания избытка коксового газа металлургического предприятия компании Hüttenwerke Kupp Mannesmann (НКМ) в Дуйсбурге показано на рис. 5. Работа устройства была улучшена путем монтажа модифицированного подвода коксового

газа с двойным запорным клапаном. Новый клапан позволяет надежно предотвратить попадание коксового газа в факельную трубу. В результате этого существенно сокращается подвод продувочного газа, необходимый в процессе переключения. Подобная модернизация привела к снижению расхода энергии на 65700 ГДж/год, денежных затрат на 310 тыс. евро/год, выбросов  $\text{CO}_2$  на 17121 т/год.

Пример проекта по улучшению сети подвода природного газа на металлургическом предприятии НКМ в Дуйсбурге показан на рис. 6. Ранее на этом предприятии попеременно использовали две различные марки природного газа с минимальной теплотворной способностью 35 и 38,5 МДж/м<sup>3</sup> [11].

Многие потребители регулировали объемный поток, а не энергетический, поэтому переход на высококалорийный природный газ привел к большему расходу энергии по сравнению с низкокалорийным природным газом.

Для минимизации расхода природного газа по центру установлена станция для подмешивания азота, что позволило под контролем добавлять определенную часть азота к высококалорийному природному газу. В результате величину теплотворной способности газовой смеси можно стабильно выдерживать на нижнем уровне (35 МДж/м<sup>3</sup>) за счет периодического подмешивания азота. Это позволяет сократить расход энергии в объеме 43800 ГДж/год, денежные затраты на 375 тыс. евро/год и выбросы  $\text{CO}_2$  на 2450 т/год.

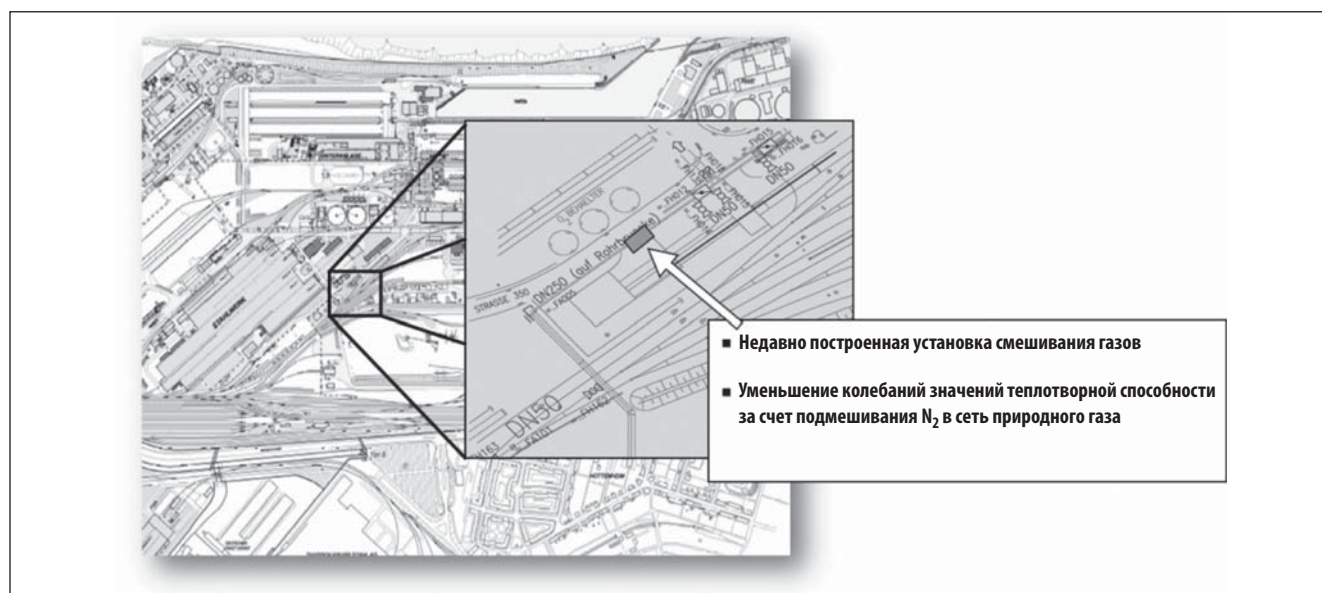


Рис. 6. Газовая сеть с установкой для смешения газов на металлургическом предприятии компании НКМ в Дуйсбурге

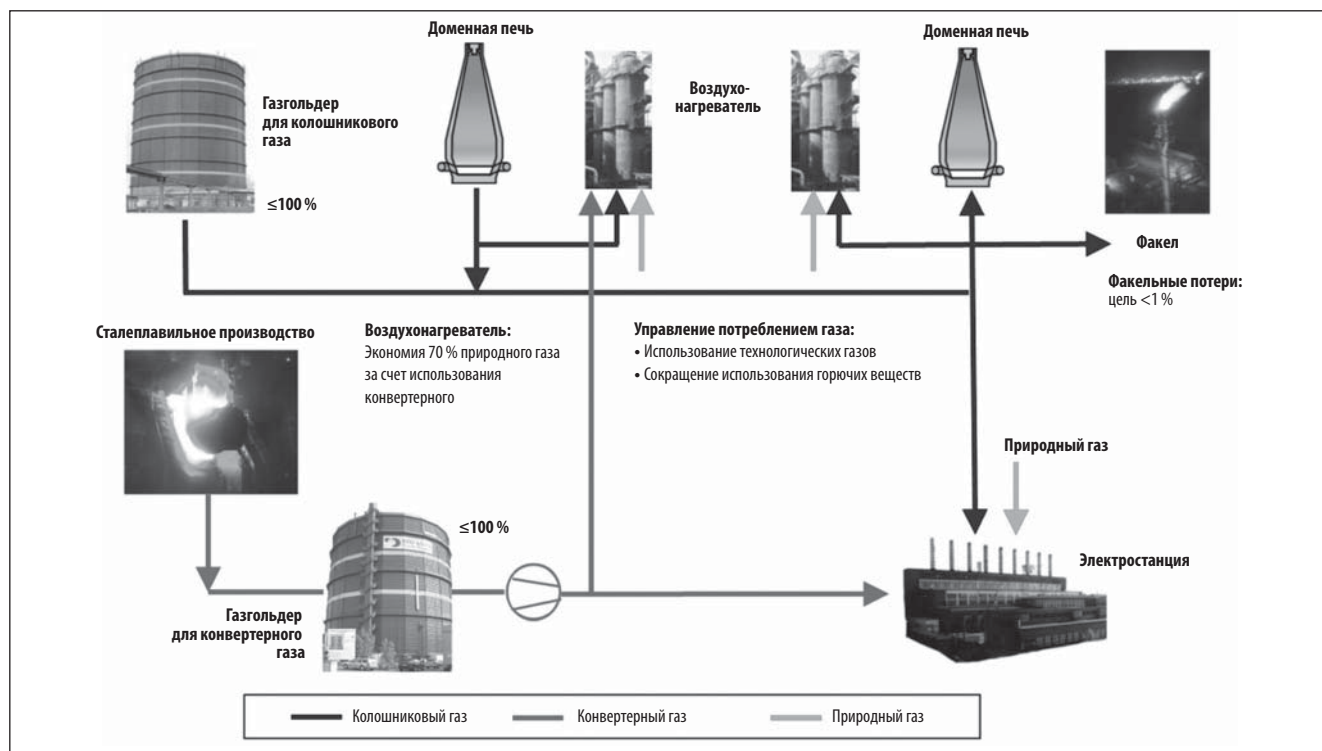


Рис. 7. Схема регулирования расхода технологических газов на предприятии концерна ArcelorMittal в Айзенхюттенштадте

Организация и оптимизация системы регулирования расхода технологических газов на предприятии компании ArcelorMittal в Айзенхюттенштадте показана на рис. 7.

В ходе использования данной системы был выявлен значительный потенциал экономии за счет согласования во времени получения и использования технологических газов, что позволило минимизировать потери. При выполнении исследовательского проекта по внедрению подобной системы регулирования расхода газа с современной управляющей техникой на предприятии концерна ArcelorMittal активное участие принимал Институт производственных исследований Общества немецких металлургов. В рамках выполнения проекта с целью экономии природного газа воздухонагреватель был переведен на конвертерный газ. Мониторинг в режиме реального времени оказывает поддержку при проведении предварительного планирования полученного и израсходованного объема газа и в целом способствует оптимизации газовых потоков. Это позволяет лучше спланировать режим работы электростанции.

В результате расход потребляемого воздухонагревателем природного газа сократился на 70 %. Улучшение использования технологических газов привело к сокращению потребления энергии и

дальнейшему снижению факельных потерь предприятия до <1 %.

### Выводы

В черной металлургии энергоэффективность производственных процессов является важным фактором для достижения успеха. Вследствие постоянно растущих затрат на энергию в настоящее время необходимо уделять особое внимание систематическому выявлению потенциала энергосбережения во всех производственных сферах металлургического производства. Система регулирования потребления энергии в соответствии со стандартом DIN EN ISO 50001 позволяет структурировать и систематически обрабатывать эту задачу. При этом данная система поддерживает протекающие на предприятии процессы таким образом, чтобы обеспечить систематический процесс непрерывного улучшения потребления энергии. При этом очень важно вовлекать сотрудников предприятия в решение задач регулирования расхода энергии для обеспечения самоподдерживающегося процесса оптимизации. ЧМ

### Библиографический список

См. на следующей стр. (в англ. блоке).

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

## ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS IMPROVE THE ENERGY PERFORMANCE IN THE STEEL INDUSTRY

Rosemann H.<sup>1</sup>, Mag. Eng., Head of Project  
Stranzinger B.<sup>1</sup>, Mag. Eng., Head of Dept of Gas Equipment and Power Engineering,

Baldermann M.<sup>2</sup>, Mag. Eng., Head of Power Engineering  
Heinemann O.<sup>3</sup>, Mag. Eng., Power Engineering Manager

<sup>1</sup> Institute of Industrial Research of the Union of German Metallurgists — VDEh (Düsseldorf, Germany)

<sup>2</sup> Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH (Duisburg, Germany)

<sup>3</sup> ArcelorMittal Eisenhüttenstadt (Eisenhüttenstadt, Germany)

E-mail: holger.rosemann@bfi.de

**Abstract:** The new German Energy Policy calls for extensive savings of energy within all parts of society and economy. Within the iron and steel industry the continuous improvement of the energy efficiency is of great importance for the success of the industry. Power engineering flows and use of process gases within an integrated steelworks with coke oven, blast furnace and power station as well as energy management in the German iron and steel industry are analyzed and necessary measurements for a balance sheet of energy flows are presented. Specific consumption of reducing agents for the production of iron in German blast furnaces and aimed parameters of the German power engineering policy, including climate, recyclable power engineering and energy efficiency are generalized. Therefore, Energy Management Systems operating according to DIN EN ISO 50001 are used today in order to identify the possibilities for improvements and to reduce the energy consumption continuously. Simplified principles of operation of this system are explained. Energy Management Systems have to be installed, too, if energy taxes shall be repaid. The paper describes a significant energy saving that has been obtained within projects of the Energy Management System at the flare stack of the steelworks HKM, located near Duisburg. Measures to reduce the energy losses of an

excess gas burner in the steelworks of HKM, Duisburg are described. Another example is observed on the base of the flow sheet of the process gases in the ArcelorMittal steelworks at Eisenhüttenstadt.

**Key words:** power engineering, energy efficiency, energy saving, iron and steel works, process gases, energy management systems, energy flow, taxes.

## References:

1. Schaffhausen, F.: Drehbuch für die Energiewende, Vortrag zur BDEW-Veranstaltung „Life needs power“, Hannover-Messe 2012, Hannover.
2. Umweltbundesamt: Indikator Energieproduktivität. <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeid=2847>.
3. ThyssenKrupp AG: Online-Geschäftsbericht 2011/12, Abschnitt „Nichtfinanzielle Leistungsindikatoren“, [http://www.thyssenkrupp.com/financialreports/11\\_12/de/report/non-financial.html](http://www.thyssenkrupp.com/financialreports/11_12/de/report/non-financial.html).
4. Winterkorn, M.: Newsletter „Energiewende!“, Ausgabe 04/2012: Standpunkte und Stimmen aus der Wirtschaft, Energiepolitische Informationen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin.
5. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, European Commission, 8. März 2012.
6. Dahlmann, P.; Fandrich, R.; Lungen, H. B.: stahl u. eisen 132 (2012) Nr. 10, S. 29/38.
7. Scholz, R.: Stoffliche Nutzung von Kohlenstoff im Hochofenprozess, Inst. f. Energieverfahrenstechnik u. Brennstofftechnik, Techn. Univ. Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, 2. Jan. 2004.
8. DIN EN ISO 50001:2011-12. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
9. Leischner, F.; Hirsch, J.: Gießerei 99 (2012) Nr. 11, S. 84/87.
10. HKM: Energiemanagement auf der Hütte zertifiziert: Systematik nachgewiesen, HKM-Mitarbeiterzeitschrift „Wir bei HKM“, Ausgabe 03/2012, S. 14/15.
11. Bosse, M.: Gießerei 99 (2012) Nr. 5, S. 22/23.

## Издательский дом «Руда и Металлы»

WWW.RUDMET.RU

Москва, Ленинский проспект, д. 6, корп. 1; тел.: (495) 955-01-23; эл. почта: rim@rudmet.ru



горное дело · цветная металлургия · черная металлургия · обогащение руд

Реклама