

## Потенциальные возможности и проблемы утилизации тепла в сталеплавильных цехах

Отходящие газы, образующиеся при выплавке стали в электродуговых печах, обладают мощным потенциалом утилизации тепла.

В зависимости от температуры на выходной стороне газохода и эффективности регулирования подсоса воздуха большая часть этой энергии может быть утилизирована. Аккумулирование энергии с помощью пара в данной статье не рассматривается. Почти в любом случае можно избежать потребности в перегретом паре, и экономичнее выработать электрическую энергию.

### Энергетический потенциал отходящих газов

Утилизация тепла в сталеплавильных цехах с электродуговыми печами предполагает прежде всего утилизацию тепла отходящих газов электродуговой печи. Энергетический баланс типовой 150-тонной электродуговой печи для выплавки коррозионностойких сталей приведен на рис. 1 [1]. Наибольшие потери тепловой энергии, безусловно, связаны с отходящими газами. Утилизация тепла охлаждающей воды также представляет интерес, особенно для печей Consteel с пониженным уровнем механических напряжений в кожухе и своде печи. Однако в данной статье будет рассмотрена утилизация тепла отходящих газов электродуговой печи.

Количество энергии отходящих газов и величины, представленные на рис. 1, обычно оценивают не по результатам прямых измерений. Это связано с тем, что не все металлургические цехи располагают надежной системой измерения температуры отходящих газов (например, нет в четвертом окне, через которое газы выходят из печи), и в немногих металлургических цехах имеются расходо-

меры для измерения потока отходящих газов.

Простейшая формула «количество энергии = температура × газовый поток» в данном случае неприменима. В некоторых случаях можно выполнить косвенный расчет энергии отходящих газов по различным показателям. Например, если измерены показатели расхода газа (газового потока) и перепада температур ( $\Delta T$ ) охлаждающей воды в газоходе отходящих газов, а также расход воды в охлаждающей установке и температура отходящих газов на входе в камеру рукавных фильтров, то можно с достаточной точностью определить количество энергии, содержащейся в отходящих газах на уровне четвертого окна.

Однако этот метод недостаточно точен и не всегда применим. Многие системы охлаждения не оборудованы расходомерами для определения количества воды, поступающей для охлаждения кожуха и свода печи, а также газоходов. Ранее в таких расходомерах не было необходимости, и их не устанавливали. Количеством энергии в отходящих газах заинтересовались только после повышения цен на энергоносители, в результате чего усилилось внимание к вопросам энергетической эффективности.

Общее поступление энергии 722 кВт·ч/т жидкой стали

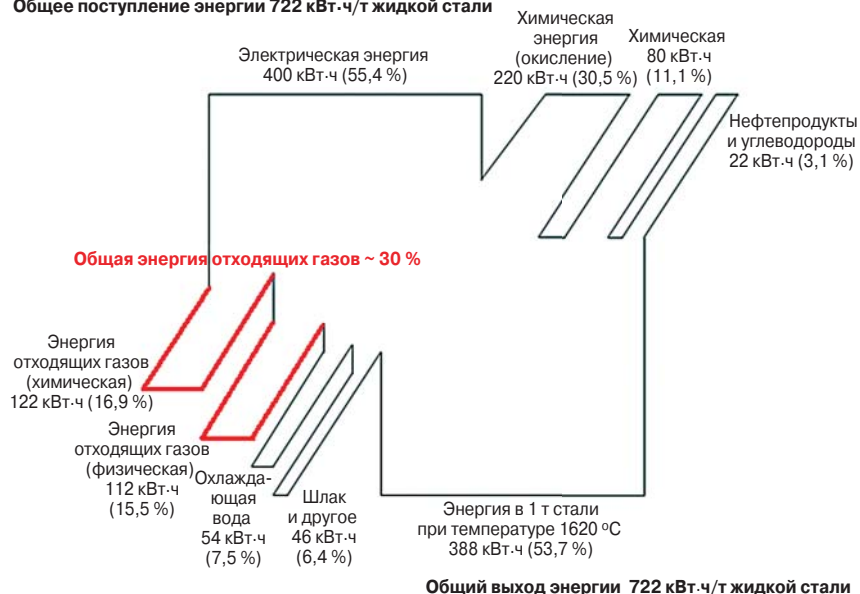


Рис. 1. Диаграмма тепловых потоков (диаграмма Сэнки) электродуговой печи, иллюстрирующая 30%-ные потери тепла с отходящими газами

Карстен Борн, Ральф Грандерат, компания **Tenova Re Energy GmbH**, Дюссельдорф, Германия

Контакт: [www.tenovagroup.com](http://www.tenovagroup.com)  
Эл. почта: [reenergy@de.tenovagroup.com](mailto:reenergy@de.tenovagroup.com)

В поисках надежного решения этой проблемы специалисты компании Tenova рассмотрели различные варианты; содержание энергии в отходящих газах определяли, основываясь на подводимой энергии с помощью баланса масс и энергии. Данные о параметрах отходящих газов обычно труднодоступны, однако в то же время большинство сталеплавильных цехов располагают точными данными о подаче шихтовых материалов и энергии в электродуговую печь.

На основе математических моделей, разработанных компанией Tenova Goodfellow для процессов EFSOP и iEAF, технологи компании Tenova Re Energy рассчитали подробный массово-энергетический баланс, позволивший получить достаточно точные количественные характеристики содержания энергии в отходящих газах для различных электродуговых печей и отдельных плавок в конкретной электродуговой печи. При сопоставлении результатов расчетов, практических измерений и повторных пересчетов, выполненных после проведения измерений (в случаях, когда это было возможно), получили высокую сходимость.

Проведенные расчеты позволили классифицировать электродуговые печи по содержанию энергии в отходящих газах на категории с учетом размеров печи и применяемой технологической схемы. Типичные данные о расходе энергии (в кВт.ч/т жидкой

Продукт	Расход химической энергии		Процесс Consteel	Железо прямого восстановления (DRI)
	Низкий	Высокий		
Жидкая сталь	385/385	385/385	385/385	385/385
Шлак	50/50	50/50	50/50	50/50
Горячее зеркало ванны	30/30	30/30	30/30	30/30
Подогрев скрапа	0/0	0/0	50/50	0/0
Отходящие газы	180/170	240/240	130/130	280/260
Радиация	10/10	10/10	10/10	15/15
Охлаждающая вода	70/65	75/70	70/60	80/80
<b>Общий расход энергии</b>	<b>725/710</b>	<b>790/785</b>	<b>725/715</b>	<b>840/820</b>

Таблица 1. Расход энергии в электродуговых печах с массовой плавкой 80–120 т (числитель) и 121–180 т (знаменатель), кВт.ч/т жидкой стали

стали) для различных электродуговых печей приведены в табл. 1. Следует отметить, что печи больших типоразмеров имеют незначительные (пренебрежимые) преимущества перед печами меньшего размера по показателям удельного расхода энергии.

Значительно большее влияние на рассматриваемые показатели оказывает применяемый вариант технологии. Для электродуговых печей, потребляющих преимущественно электрическую энергию, характерен меньший удельный расход энергии. При этом добавление в шихту железа прямого восстановления (DRI) (85 % DRI, 15 % скрапа) значительно увеличивает удельный расход энергии.

Однако это относится только к техническим характеристикам процессов. Так как сравнительные цены на различные виды энергии не учтены

в приведенных выше таблицах, то при меньших производственных расходах удельный расход энергии может оставаться более высоким. Отвечая на вопрос о потенциале утилизации тепловой энергии электродуговых печей, необходимо прежде всего учитывать, что для большей части электродуговых печей с верхней загрузкой и шихты, состоящей из скрапа, характерно содержание энергии в отходящих газах в количестве 180–220 кВт.ч/т жидкой стали.

### Стадия 1 или стадия 2 технологии утилизации тепла?

Для того, чтобы определить, какая часть тепловой энергии, указанной в приведенных выше показателях, может быть извлечена в системах

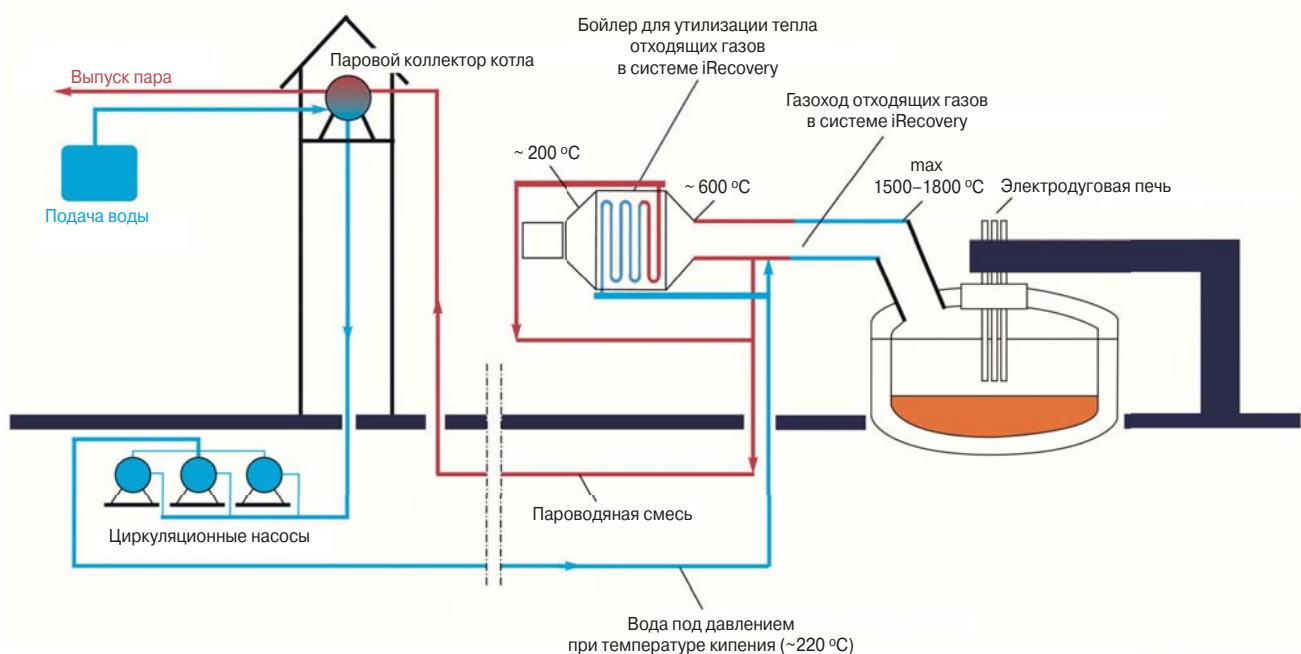


Рис. 2. Принципиальная схема стадии 2 технологии iRecovery

утилизации тепла, необходимо кратко охарактеризовать основные особенности технологии утилизации тепла. Утилизация тепла промышленных печей (независимо от типа печей) подразумевает в первую очередь производство пара. Для электродуговых печей значимым событием в этой области стал ввод в эксплуатацию в 2009 г. компанией Tenova на электродуговой печи завода компании Georgsmarienhütte GmbH в Германии системы утилизации тепла, основанной на новой технологии iRecovery [2].

В отличие от традиционного водяного охлаждения, блок системы iRecovery представляет собой проточную конструкцию типа «труба в трубе». Главное отличие заключается в уровне давления и температуры внутри системы. В систему охлаждения холодная вода поступает при температуре 20–40 °С, а в системе iRecovery рабочая температура водной среды, подаваемой к газоходу, составляет 180–250 °С, и утилизация энергии отходящих

газов в газоходе происходит в процессе парообразования.

В газоходах для отходящих газов системы iRecovery на стадии 1 происходит теплопередача путем радиации. Такой способ теплопередачи эффективен при понижении температуры отходящих газов примерно до 600 °С. При меньших температурах более эффективной становится теплопередача методом конвекции — стадия 2 технологии iRecovery. Следовательно, бойлер в системе утилизации тепла отходящих газов должен использовать тепловую энергию в интервале температур от 600 до 180–250 °С (температура на входе в фильтр). В конструкции бойлера, утилизирующего тепло отходящих газов, необходимо тщательно учесть высокую запыленность газов, отходящих от электродуговой печи. Решения для аналогичных ситуаций можно найти в конструкциях мусоросжигательных печей.

Схема стадии 2 процесса утилизации тепла iRecovery для электродуго-

вой печи показана на рис. 2. Основное различие между водоохлаждаемым газоходом и бойлером для утилизации тепла отходящих газов связано с чрезвычайной важностью извлечения тепловой энергии (как в системе iRecovery, так и в системе водяного охлаждения), когда установка бойлера, утилизирующего тепловую энергию, является одной из опций. Поток отходящих газов при температурах ниже 600 °С не повреждает детали из малоуглеродистых сталей, поэтому для утилизации тепловой энергии отходящих газов можно использовать не только бойлеры, но и U-образные охладители или охлаждающие установки.

Важным параметром при оценке потенциала утилизации тепловой энергии в теплообменных установках является температура отходящих газов на выходе из системы iRecovery. Следует помнить, что замена газоходов с водяным охлаждением является настоятельной необходимостью, однако потенциал утилизации тепловой энергии возрастает при использовании бойлера, нагреваемого отходящими газами, в системе iRecovery.

## Уменьшение подсоса воздуха

В настоящее время в большинстве электродуговых печей происходит значительный подсос воздуха через четвертое окно; во многих случаях этот процесс сложно проконтролировать или измерить. Ранее такая ситуация казалась вполне логичной; единственным

Энергия отходящих газов, МВт·ч на 1 плавку	Расход химической энергии		Процесс Consteel	Железо прямого восстановления (DRI)
	Низкий	Высокий		
На четвертом окне	18/25,5	24/36	13/18,5	28/39
Без регулирования подсоса воздуха:				
при 600 °С	6,3/8,9	8,4/12,6	4,6/6,8	9,8/13,7
при 450 °С	9,9/14	13,2/19,8	7,2/10,7	15,4/21,5
при 430 °С	13,5/19,1	18/27	9,8/14,5	21/29,3
при 315 °С	14,6/20,7	19,4/29,2	10,5/15,8	22,7/31,6

Таблица 2. Потенциал утилизации энергии для электродуговой печи с массой плавки 100 т (числитель) и 150 т (знаменатель)

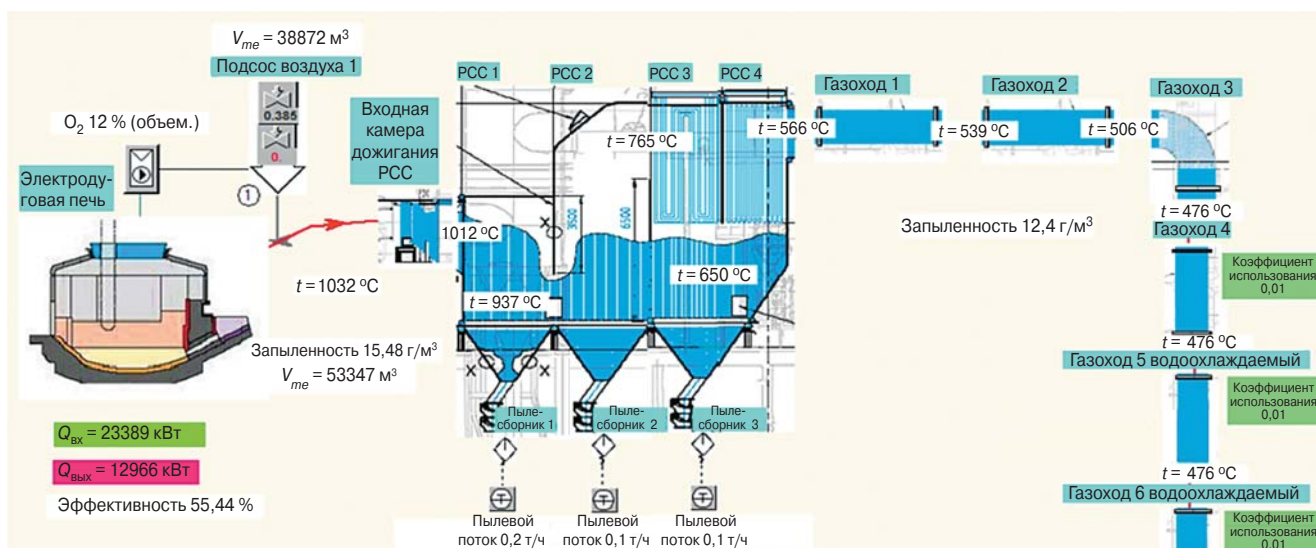
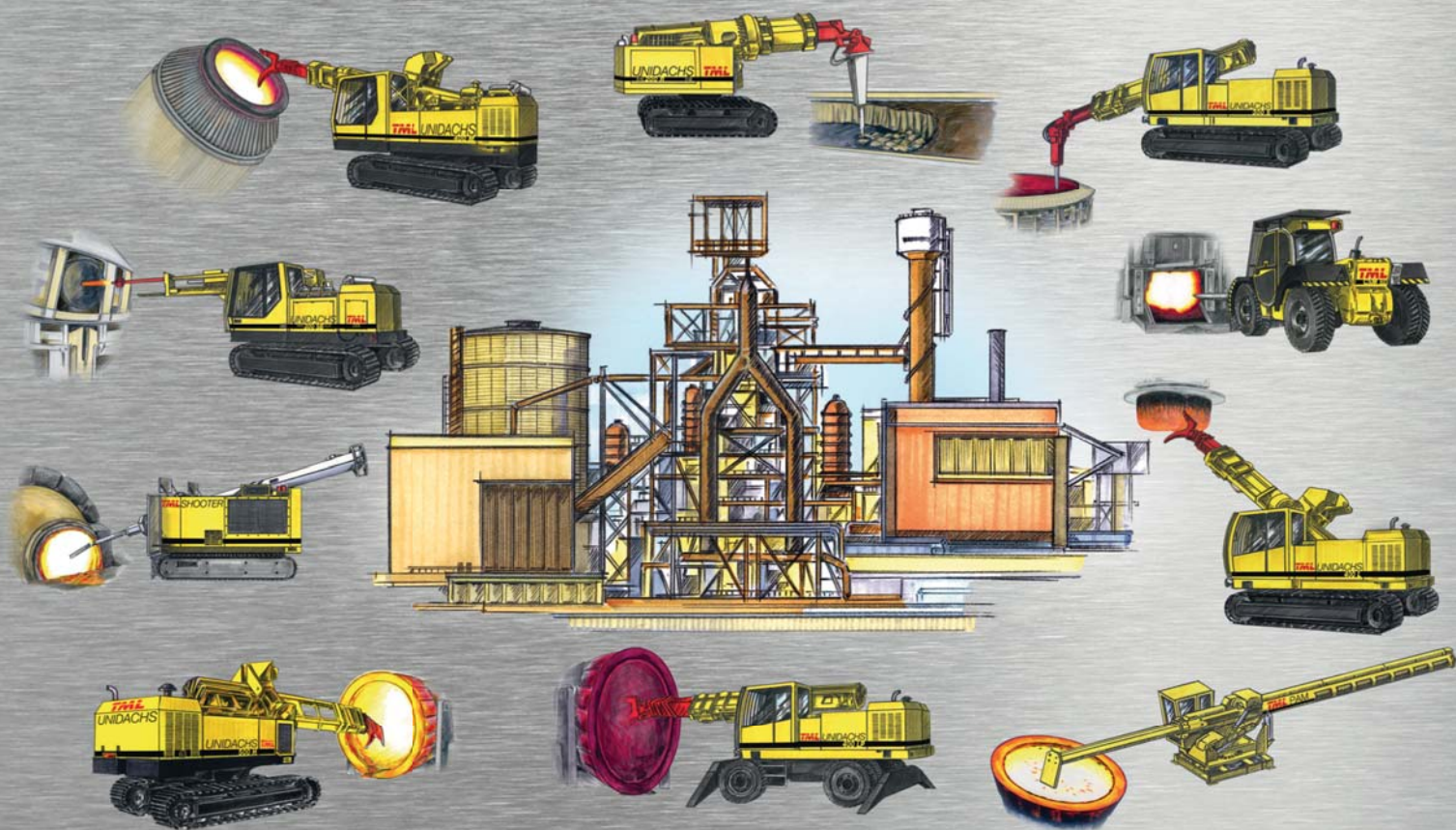


Рис. 3. Система iRecovery на стадии 1 при подсосе воздуха, регулируемом до содержания 12 %  $O_2$  после сжигания топлива



ИНЖИНИРИНГ | ПРОИЗВОДСТВО | ОБСЛУЖИВАНИЕ

Наша главная компетенция —  
Мы работаем лучше там, где горячее всего



**tml-technik.com**

Daimlerstraße 14–16  
40789 Monheim am Rhein  
Germany

+49 2173 9575-100  
info@tml-technik.com

*Работающие Решения для Экстремальных Условий. Во Всем Мире*



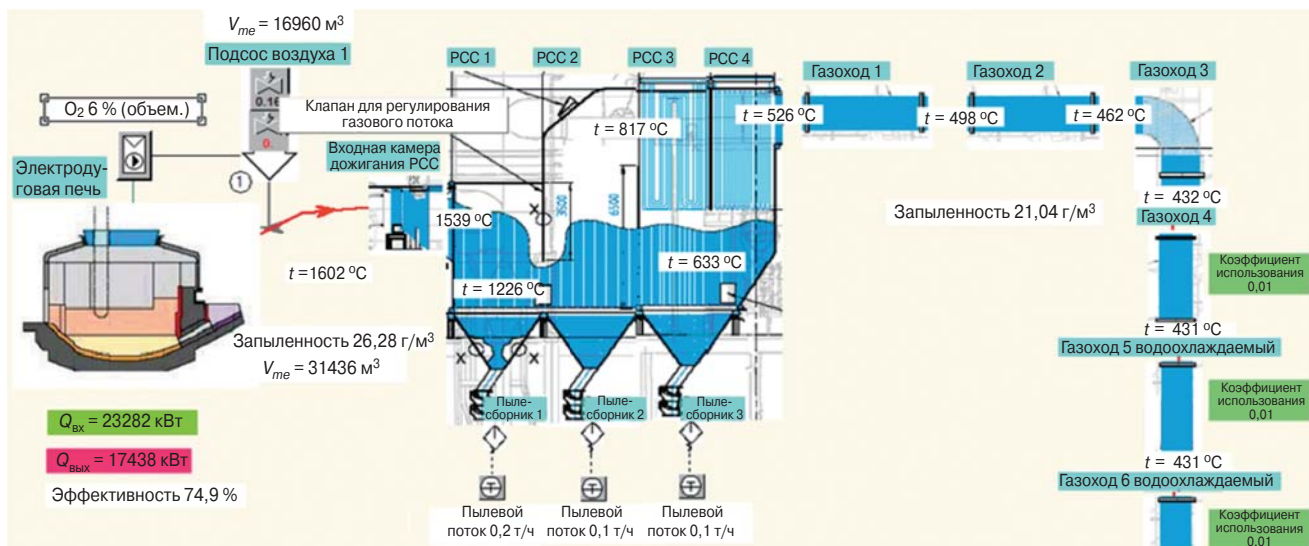


Рис. 4. Система iRecovery на стадии 1 при подсосе воздуха, регулируемом до содержания 6 %  $O_2$  после сжигания топлива

назначением системы охлаждения было получение приемлемой температуры газов на входе в камеру с рукавными фильтрами как можно более быстрым и простым из возможных способов. Разбавление газов воздухом является эффективным путем к достижению этой цели. В результате увеличился относительный объем газоздушных потоков через рукавные фильтры, что считалось приемлемым, так как в противном случае снижается технологический эффект.

Однако, если рассматривать ситуацию с точки зрения потенциальных возможностей утилизации тепла, то уменьшение подсоса воздуха становится важной задачей. Воздух подсасывается из атмосферы при температуре окружающей среды, например  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , а покидает систему iRecovery при температуре около  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Таким образом, энергию, расходуемую на нагрев определенного объема подсасываемого воздуха от  $10$  до  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , можно отнести к энергетическим потерям.

В случае, когда через систему iRecovery проходит  $80 \text{ тыс. м}^3$  (при н. у.)/ч отходящих газов (продуктов сгорания природного газа), поступающих в систему при температуре  $1500 \text{ }^\circ\text{C}$  и охлаждаемых до  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ , в отходящих газах остается примерно  $7 \text{ МВт}$  энергии. Если тот же объем отходящих газов, смешанный с подсасываемым воздухом в объеме  $100 \text{ тыс. м}^3$  (при н. у.)/ч, поступает в систему iRecovery при температуре  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ , то при охлаждении смеси газов до  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  в ней

остается примерно  $15,5 \text{ МВт}$  энергии, а эффективность системы снижается примерно на  $22 \%$ .

Совместное влияние температуры на выходе из системы iRecovery и содержания подсасываемого воздуха в отходящих газах (представлено в виде регулируемого содержания кислорода) показано на рис. 3. Подсос воздуха невозможно уменьшить до нуля, так как воздух необходим для дожигания топлива. Эффективность системы (энергия, утилизированная системой iRecovery, по отношению к энергии на уровне четвертого окна) в этом случае составляет  $55 \%$ . Такой показатель характерен для примера с контролируемым содержанием кислорода. При этом на практике часто показатели могут быть ниже. Температура на выходе из газохода 3 (последнего охлаждаемого газохода) составляет  $476 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Пример с аналогичными параметрами, но уменьшенным до  $6 \%$  объемом подсасываемого воздуха после сжигания топлива, рассмотрен на рис. 4. Такая величина подсоса является хорошим и надежным компромиссным решением, которое гарантирует полное сгорание топлива при любых условиях, и в то же время — достаточно высокую эффективность системы iRecovery. Эффективность системы достигает уровня  $75 \%$  при температуре  $432 \text{ }^\circ\text{C}$  на выходе из газохода 3.

Изменения, происходящие в системе при добавлении в нее встроенного конвекционного теплообменника, установленного в камере дожигания 4 (РСС 4), показаны на рис. 5.

В этом случае рабочие поверхности конвекционного теплообменника располагаются сзади охлаждаемого газохода из-за ограниченного пространства для его размещения. Дополнительные теплообменные поверхности, встроенные в камеру дожигания, позволяют получить температуру газов на выходе, равную  $317 \text{ }^\circ\text{C}$ . В окончательном варианте, при полной реализации стадии 2 технологии iRecovery, температура на выходе может быть еще ниже, но и в рассматриваемом случае эффективность системы возрастает до  $81 \%$ .

### Обобщение технического потенциала утилизации тепла

Как было отмечено выше, технический потенциал утилизации тепла в электродуговых печах определяется тремя основными факторами:

- применяемой технологией, от которой зависит общее содержание энергии в отходящих газах;
- заданной температурой отходящих газов после выхода из системы iRecovery;
- регулированием подсоса воздуха.

Очевидно, что на общее содержание энергии в отходящих газах влияет и размер электродуговой печи. Однако влияние этого параметра на показатели процесса, отнесенные к  $1 \text{ т}$  жидкой стали, незначительно. Это подтверждают результаты, полученные для электродуговых печей с массой плавки  $100$  и  $150 \text{ т}$  (табл. 2).





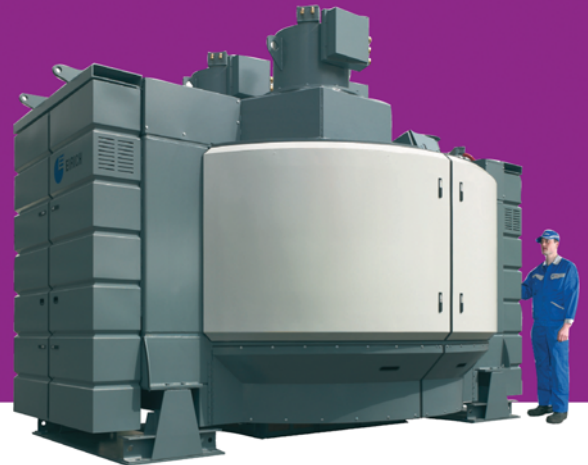
## Технологии для современной металлургии – Интенсивные смесители фирмы АЙРИХ. Оборудование, ноу-хау и сервис из одних рук



Новое оборудование



Так, например, было приготовлено  
10 млн.т железной руды без  
существенного износа оборудования



### Берите на вооружение опыт партнёра

- Обогащение металлосодержащих руд
- Смешивание агломерационных материалов
- Особые технологии

- Рециклинг зол и шламов
  - с целью сокращения отходов (снижение расходов на складирование)
  - воспроизводство ценных материалов
  - для сокращения эмиссии вредных веществ
  - с целью экономии энергии

**ООО Айрих Машинентехник**  
ул. Уржумская, 4, строение 2  
129343 Москва, Российская Федерация  
Телефон: (495) 7716880, факс: (495) 7716879  
Эл. почта: info@eirich.ru, интернет: www.eirich.ru

**ООО Айрих Машинентехник**  
ул. Стартовая 20, офис 302  
49041, Днепропетровск, Украина  
Телефон: (056) 794 31 45; Факс: (056) 794 31 46  
Эл. почта: info@eirich.ua



The Pioneer in Material Processing®

Новатор в приготовлении смесей



## Нестабильная подача пара от печи периодического действия

Возможности и проблемы полного удовлетворения потребности в паре рассмотрены ранее [3]. Важным моментом, который следует отметить и рассмотреть далее, является необходимость непрерывной подачи пара для большинства потребителей тепловой мощности, что особенно важно в случаях, когда выработка электроэнергии является частью общей концепции потребления пара.

Иногда выдвигают возражение, что названные проблемы препятствуют выработке электроэнергии на базе утилизации тепла электродуговой печи, по крайней мере без использования дополнительной горелки в периоды отключения подачи рабочей мощности к печи [4]. Это утверждение неверно. Для перекрытия периодов прекращения подачи мощности к печи существует ряд способов достижения равномерной выработки пара в системе печи периодического действия.

**Скользящее давление.** Во время работы электродуговой печи под нагрузкой давление повышается: при этом часть абсорбированной энергии расходуется на нагрев воды, которая испаряется при меньшей температуре. В периоды отключения печи от нагрузки давление понижается, что вызывает парообразование, хотя новая энергия в систему не поступает. Нижний

Типоразмер электродуговой печи	Малая	Средняя	Большая
Энергия, МВт·ч на 1 плавку	15	22	30
Время от выпуска до выпуска плавки, мин	54	63	54
Время работы печи под нагрузкой, мин	45	56	48
Время работы печи с отключенной нагрузкой, мин	9	7	6
Производство пара, т за 1 плавку	22,5	33	45
Непрерывная выработка пара, т/ч	25	31,4	50
Продолжительность аккумуляции, мин	21	19	18
Аккумулирующая способность, т	8,75	9,95	15

Таблица 3. Характеристики систем аккумуляции пара для электродуговых печей различных типоразмеров

предел изменения скользящего давления определяется потребностью в выработке пара, например, если требуется пар под давлением 14 бар, то пределы изменения скользящего давления устанавливаются от 15 до 30 бар.

**Тепловые аккумуляторы Рута** могут быть встроены в систему. Это большие сосуды высокого давления для горячей воды, в которых накапливается энергия. При снижении давления вода испаряется и энергия высвобождается. Таким образом, эти аккумуляторы позволяют дополнительно накапливать энергию при использовании скользящего давления. Кроме того, размер барабана парового котла должен быть больше размера барабана котла, используемого в системе с непрерывно работающей печью (при равной производительности пара) [5].

**Температура воды.** Обычно вода поступает в бойлерные системы при температуре 105 °С. В системе iRecovery температура воды может варьиро-

ваться в пределах от 105 до, например, 180 °С. В моменты максимальной подачи энергии при работе электродуговой печи под нагрузкой энергия используется для нагрева поступающей в паровой котел воды, что позволяет снизить потребление энергии в процессе парообразования в паровом котле бойлера в периоды уменьшенного поступления энергии с электродуговой печи.

С помощью названных способов может быть легко решена проблема периодов работы электродуговой печи с отключенной нагрузкой и полностью обеспечена равномерная выработка пара. Опыт показывает, что буферный эффект системы iRecovery должен быть больше, чем рассчитанный с учетом только преодоления периодов работы печи с отключенной нагрузкой, так как начальный момент расплавления шихты всегда характеризуется критическими рабочими параметрами, и из-за различных проблем

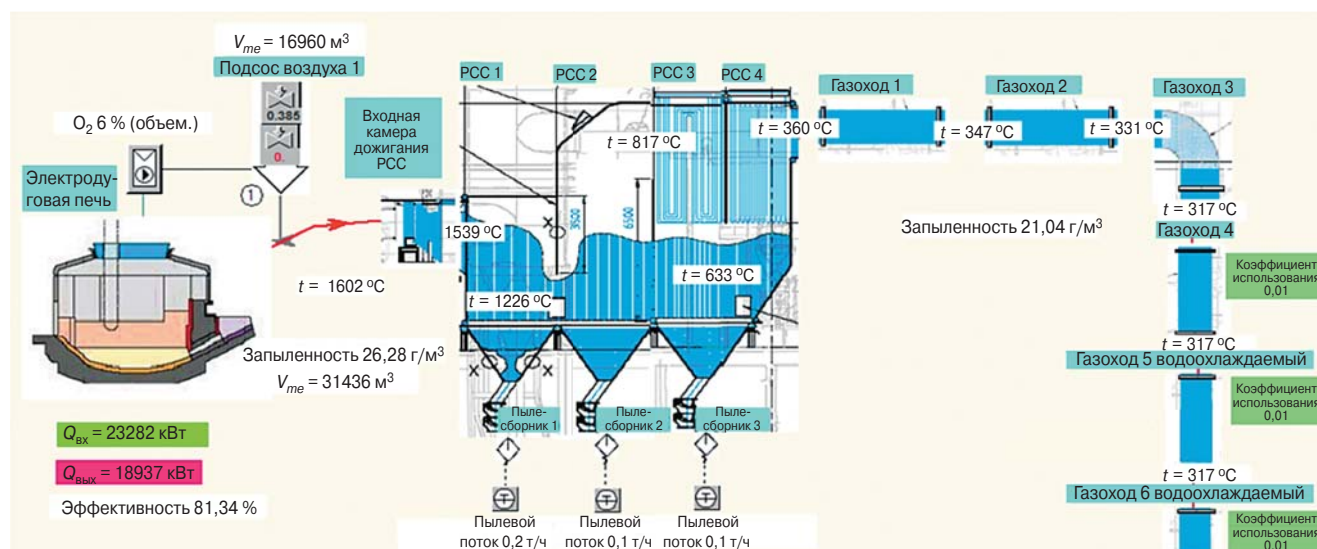


Рис. 5. Система iRecovery на стадии 1,5 при подсосе воздуха, регулируемом до содержания 6 % O<sub>2</sub> после сжигания топлива

# just...

# ...convincing\*



\* просто... ...убедительно

## Технология выпуска плавки

### TMT

Tapping - Measuring - Technology



TMT – Tapping Measuring Technology Sàrl  
P.O.Box 2233 - L-1022 Luxembourg • 32, rue d'Alsace - L-1122 Luxembourg  
Тел. +352 261920-0 • Факс +352 261920-2779 • Эл. почта contact@tmt.com

Управляющие директора: д-р инж. Арно Диненталь, д-р инж. Клод Бодевинг • Регистрационный № В 91897

www.tmt.com

Управляющие директора: д-р инж. Арно Диненталь, д-р инж. Клод Бодевинг • Регистрационный № HR В 5741

TMT – Tapping Measuring Technology GmbH  
P.O.Box 101355 - D-57013 Siegen • Hagener Straße 103 - D-57072 Siegen  
Тел. +49 271 4014-0 • Факс +49 271 4014-210 • Эл. почта contact@tmt.com

Объединенная компания DANGO & DIENTHAL и PAUL WURTH

Реклама



условия установившегося процесса могут возникнуть в печи только через несколько минут.

В каждом конкретном проекте необходимо тщательно проверять последовательность перерывов в выработке пара, возможные резервные источники поступления пара в такие периоды, время запуска этих резервных источников и т. д. Например, пятиминутный перерыв в подаче энергии имеет менее критические последствия для районной теплоцентрали, чем для воздуходелительной установки. Требуемые характеристики аккумулирующих мощностей для трех типоразмеров электродуговых печей приведены в табл. 3. Реализация любого из указанных вариантов не представляет никаких технических проблем.

### Насыщенный или перегретый пар?

Как было отмечено выше, аккумуляция пара в буферных системах для его непрерывной подачи является общепринятой практикой, но с одной оговоркой. Аккумуляция пара не представляет проблемы, однако невозможно аккумулятировать перегретый пар. Пар невозможно перегреть в присутствии жидкой фазы, а метод скользящего давления накапливает энергию отходящих газов в воде, и потом эта энергия может быть высвобождена в виде пара на стадии уменьшенного поступления энергии в систему. Все это всегда происходит в присутствии воды.

Прежде всего следует различать «слабо перегретый» и «значительно перегретый» пар. В некоторых процессах требуется пар, температура которого только на 5 °C выше кривой насыщения. Соблюдение такого требования обычно не имеет никакого отношения к энергоёмкости, но при этом необходимо, чтобы это был гарантированно сухой пар. Типичный пример такой ситуации — паропровод, по которому пар транспортируют на расстояние сотен метров, причем в процессе транспортировки конденсация недопустима. «Слабо перегретый» пар может быть получен даже из аккумулятированного пара, хотя ранее это считалось невозможным. Такое утверждение можно продемонстрировать на следующем примере.

Если требуется получить пар при температуре 187 °C и давлении 10 бар (температура насыщенного пара при давлении 10 бар составляет 184 °C), то нижний уровень скользящего давления устанавливается на уровне 13 бар (что соответствует точке кипения 195 °C). Если теперь высвободить пар, то в общем случае это произойдет при давлении 13 бар и температуре 195 °C. Однако в рассматриваемом примере высвобождение пара произошло при давлении 10 бар, в результате чего получился пар, перегретый на 3 °C.

Однако этот случай не типичен для парогенераторов, работающих с паровой турбиной, для которой может потребоваться пар под давлением 50 бар при температуре 450–500 °C, а температура насыщенного пара при давлении 50 бар составляет 264 °C. При таком сценарии остается правильным утверждение, что перегретый пар невозможно аккумулятировать. Возможными стратегиями для решения подобной проблемы является использование внешнего пароперегревателя во время работы печи без нагрузки или исключение потребности в перегретом паре.

**Внешний пароперегреватель.** Внешний перегрев пара можно обеспечить с помощью другого источника тепла в том же цехе (например, печи с шагающими балками, которая непрерывно работает как пароперегреватель) или с помощью горелки в системе утилизации тепла.

Применение другой печи в качестве источника тепла оправдано и может быть рекомендовано при условии, что она должна обеспечить достаточно высокий уровень температуры отходящих газов. При этом при температуре отходящих газов 400 °C невозможно перегреть пар до 500 °C. Кроме того, другой источник тепла должен быть доступен в любой момент рабочего цикла электродуговой печи, так как иногда проблема может возникнуть, например, из-за несовпадения графиков ремонтных работ, что приводит к взаимной зависимости двух различных технологических процессов. Электродуговая печь и второй источник тепла расположены на достаточно близком расстоянии между ними. Общая идея этого варианта проста и убедительна. Однако его реализация часто сопровождается большими трудностями.

Использование горелки в системе утилизации тепла всегда осуществимо, но не рекомендуется. При этом не возникает никаких технических проблем. Горелка может быть размещена в газоходе перед теплообменной поверхностью, выступающей в роли перегревателя пара. Горелку включают в момент начала работы печи без нагрузки или на стадии образования низкотемпературных отходящих газов. Проблемы, связанные с этим вариантом, носят экономический характер. Для перегрева пара, поступающего в типовую паровую турбину, требуется примерно 12–15 % энергии насыщенного пара. Практический опыт показывает, что для получения перегретого пара мощностью 20 МВт необходима энергия природного газа, равная 3 МВт. Однако это не означает, что достаточно установить горелку на природном газе мощностью 3 МВт.

Если принять, что продукты сгорания газа в горелке имеют температуру около 1200 °C, то только часть этих газов при охлаждении их до температуры приблизительно 550–600 °C может быть использована для перегрева пара, т. е. примерно 50 % энергии природного газа будет теряться с газами, отходящими после пароперегревателя при температуре 600 °C и ниже. Это приведет к дополнительному испарению при работе электродуговой печи с отключенной нагрузкой. Положительный эффект этого варианта заключается в уменьшении потребности в аккумулятировании пара. Также необходимо уточнить эффективность работы горелки, установленной в газоходе со значительно большей пропускной способностью.

Таким образом, для системы утилизации тепла мощностью 20 МВт требуется горелка мощностью 6–8 МВт. Согласно исследованиям, проведенным авторами данной статьи, такая горелка должна работать не только в периоды отключения электродуговой печи от нагрузки, но и на других стадиях технологического процесса плавки, для которых характерно относительное понижение температуры отходящих газов. Следовательно, горелка должна быть включена на протяжении примерно 25 % общего времени рабочего цикла электродуговой печи.

Именно в этом и заключается проблема. Если принять показатель



# Siempelkamp

Maschinen- und Anlagenbau



## НАДЕЖНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ, ТОЧНОСТЬ



**Формовочные прессы для продольношовных сварных труб большого диаметра**

### ПОДГИБКА | U-ФОРМОВАНИЕ | O-ФОРМОВАНИЕ

Для производства труб большого диаметра, используемых при прокладке наземных и морских подводных трубопроводов, компания Siempelkamp предлагает формовочные прессы, развивающие усилие прессования до 720 МН.



электрической эффективности 30 %, то выход электроэнергии составит  $0,3 \times 20 \text{ МВт} = 6,6 \text{ МВт}$ , т. е. на протяжении почти 25 % времени рабочего цикла необходимо вводить такое количество первичной энергии, которое равно количеству вырабатываемой электроэнергии. Это значительно влияет на показатели амортизации всего проекта.

**Исключение потребности в перегретом паре.** Альтернативой первому варианту является выработка электрической энергии без использования перегретого пара. Это не означает использования паровых турбин, работающих на насыщенном паре, так как подобные турбины имеют весьма низкую эффективность — примерно 10 %. Альтернативой служат ORC-турбины (ORC-organic Rankine cycle), использующие цикл Ренкина на органическом теплоносителе. Такие турбины получили широкое распространение на энергетических установках, использующих биомассу или энергию сжигаемых отходов. Основным преимуществом при использовании в промышленных установках утилизации тепла является замкнутый цикл турбины, в которой используется органическая рабочая жидкая среда. Пар отдает тепло через теплообменник простой конструкции. Поэтому вопрос о перегреве пара для такого варианта не обсуждается. Кроме пара, при этом варианте возможно использование также горячей воды или, например, масляного теплоносителя для ввода энергии в рабочий цикл турбины. Другими преимуществами такой технологии являются: полная автоматизация системы запуска и остановки; незначительная переподготовка персонала; простое техническое обслуживание; хороший показатель неполной загрузки (что существенно в случаях, когда выработка электроэнергии связана с переменным потреблением технологического пара и соответствующими колебаниями подачи пара к турбине) и надежность системы.

Эти преимущества позволяют заказчику дополнительно и значительно снизить общие расходы по сравнению с обычной паровой турбиной. Кроме того, конструкция системы iRecovery проще и капитальные затраты на ее сооружение ниже. Недостатком является меньшая электрическая эффек-

тивность: для ORC-турбин этот показатель не превышает 20–25 %.

На основе результатов выполненных авторами различных сопоставительных расчетов, можно сделать вывод об общей эффективности ORC-системы и ее предпочтительности для проектов с потенциалом утилизации тепловой энергии до 50 МВт. В этих случаях исключение использования перегретого пара является важным фактором.

### Экономический потенциал — вопрос правильного выбора времени

Проблему окупаемости инвестиций в проект iRecovery следует рассматривать в следующих трех аспектах:

- необходима ли реконструкция системы охлаждения в любом случае или инвестиции нужны только для решения проблемы утилизации тепла?
- имеется ли технологическая потребность в паре/тепловой энергии и является ли выработка электроэнергии единственной опцией (вариант, при котором технологическая потребность в паре/тепловой энергии обычно обеспечивает лучшую окупаемость)?
- каковы цены на энергию в регионе, где расположено предприятие?

В целом проект iRecovery легче реализовать, если требуется оправдать только разницу в затратах по сравнению с традиционной системой водяного охлаждения. Система iRecovery обычно требует дополнительных затрат не более 20–25 % по сравнению с суммой, требуемой для системы водяного охлаждения, и это увеличение затрат объясняется применением более сложного оборудования и дополнительных агрегатов и устройств (например, парового коллектора котла или аккумуляторов пара). В случае выработки электрической энергии применение турбины, как правило, удваивает сумму затрат.

Точный расчет окупаемости следует выполнять для каждого конкретного случая, но в качестве общего правила необходимо учитывать следующее. При реализации проекта, предусматривающего необходимость модернизации или сооружения новой печи, применение системы iRecovery во всех

случаях обеспечит разумный срок окупаемости. Если существует потребность в паре, то этот показатель будет отличным, а если целью является выработка дополнительной электроэнергии, то и в таком случае будут достигнуты приемлемые показатели. Отключение имеющейся в цехе действующей системы водяного охлаждения иногда связано с экономическими трудностями. Чем большая часть вырабатываемого пара используется для удовлетворения технологических потребностей предприятия, тем лучше достигаемые показатели амортизации. Выработка электроэнергии оправдана в случаях, когда эта энергия может рассматриваться как «зеленая энергия» и субсидироваться именно по такой категории (например, как ветровая энергия). Это непростая проблема, так как законодательство в этой области может различаться в разных странах. Если невозможно квалифицировать субсидии на выработку электроэнергии, можно получить субсидии на капитальное строительство.

Без перечисленных опций субсидирования расчетные сроки амортизации составляют от 6 до 12 лет, в зависимости от локальных цен на электроэнергию. Если такие показатели не кажутся слишком привлекательными для работников металлургического производства, они могут представить интерес для поставщиков электрической энергии.

### Выводы

Стандартная электродуговая печь с верхней загрузкой теряет с отходящими газами примерно 180–220 кВт·ч энергии на 1 т жидкой стали, в связи с чем отходящие газы являются основной средой, используемой для утилизации тепла. В зависимости от температуры газа на выходной стороне газохода и от регулируемого подсоса воздуха утилизируется 50–85 % этой энергии.

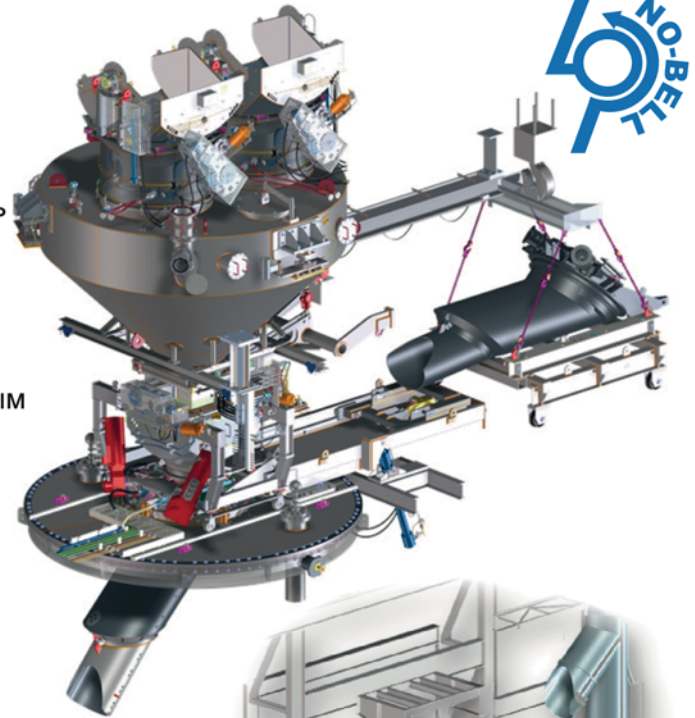
Вопреки широко распространенному мнению, утилизация тепла на выходе из печи периодического действия осуществима с помощью технологии с аккумулярованием пара iRecovery компании Tenova. Использование перегретого пара связано с определенными проблемами. Однако как было показано выше, почти во всех случаях можно избежать необходимости применения

# Профессиональное оборудование для доменной печи.



## No-Bell Top

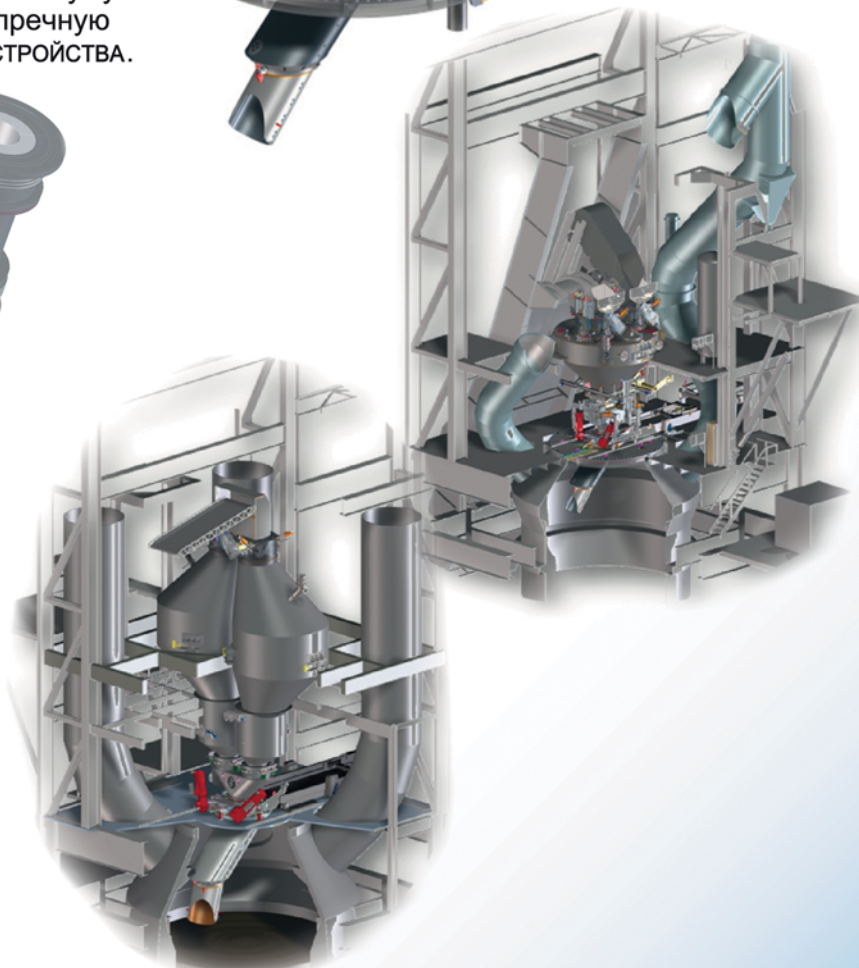
Наше новое компактное бесконусное загрузочное устройство фирмы «Z&J Technologies» «No-Bell Top» очень просто заменит ваше старое двухконусное загрузочное устройство. Для такой замены не нужна новая стальная конструкция, не нужен новый скип или новый транспортёр! К низким инвестиционным затратам присоединяются после простой замены и другие экономические преимущества нашего No-Bell Top! Таковыми являются, как правило, увеличение полезного объема домны, как и снижение расхода редуционных материалов вследствие направленного их распределения. Поскольку отпадает необходимость в опускании или подъёме загрузочной трубы, то сводятся к минимуму нагрузки на передачи. Это гарантирует безупречную безаварийную эксплуатацию загрузочного устройства.



### Новые энергосберегающие и самонесущие фурменные приборы



### Новый 3D - сканер «Профиломер» с функцией непрерывного замера



**Z&J Technologies GmbH**  
Bahnstraße 52 • D-52355 Düren  
P.O. Box 10 25 65 • D-52325 Düren  
Тел.: +49 - 2421 - 691 - 0  
Телефакс: +49 - 2421 - 691 - 241  
Эл. почта: [postoffice@zjtechnologies.de](mailto:postoffice@zjtechnologies.de)  
[www.zjtechnologies.de](http://www.zjtechnologies.de)

**Zimmermann & Jansen Inc.**  
620 N. Houston Avenue  
P.O. Box 3365  
Humble, Texas 77347 - 3365, USA  
Тел.: (+1) 281 446 - 8000  
Телефакс: ((+1) 281 446 - 8126  
Эл. почта: [zj.central@zjinc.com](mailto:zj.central@zjinc.com)

**Z&J High Temperature Equipment  
(Shanghai) Co., Ltd.**  
No.2 Workshop, 819 Yinchun Road,  
Minhang District  
Shanghai 201109, P.R. China  
Тел.: (+86 21) 6490 7780 доб. 288  
Телефакс: (+8621) 6490 7822  
Эл. почта: [D.Ye@zjtechnologies.cn](mailto:D.Ye@zjtechnologies.cn)



# Арматура для черной металлургии



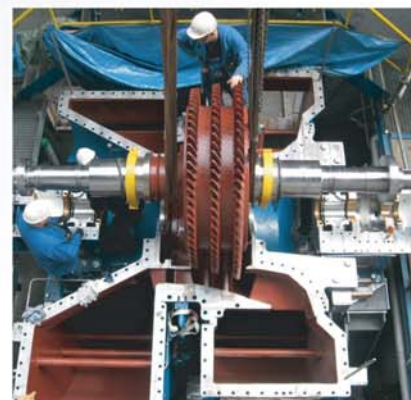
ZIMMERMANN & JANSEN

Благодаря стабильному и бесперебойному режиму работы наша продукция для черной металлургии завоевала известность во всем мире.

## Выборка из нашей программы поставок:

### Оборудование

- ГУБТ / Турбина газорасширения
- Газовые факелы
- Разработка приводов - электрические, гидравлические, пневматические



### Оснастка

- Бесконусное загрузочное устройство No-Bell Top
- Устройства отвода в доменных печах
- Горелки
- Устройства розжига
- Радарные профилемеры

## Арматура для воздухонагревателей, газовых сетей, доменных печей и т. д.

- Шиберы горячего дутья
- Шиберы на тягу
- Очковые задвижки
- Рычажные клапаны (2-, 3-рычажный или с перекидным рычагом)
- Эксцентриковые и дроссельные клапаны
- Дроссельный клапан SNOPT с устройством перепуска воздуха
- Атмосферный клапан
- Клапан перепускной
- Групповой расширительный клапан
- Газопредохранительный клапан



**Z&J Technologies GmbH**  
Bahnstraße 52 • D-52355 Düren

P.O. Box 10 25 65 • D-52325 Düren  
Тел.: +49 - 2421 - 691 - 0  
Телефакс: +49 - 2421 - 691 - 241

Эл. почта: [postoffice@zjtechnologies.de](mailto:postoffice@zjtechnologies.de)  
[www.zjtechnologies.de](http://www.zjtechnologies.de)



перегретого пара и воспользоваться экономически более привлекательной опцией, предполагающей выработку электроэнергии с помощью ORC-турбины вместо установки внешней горелки для перегрева пара.

Подходящий момент для планирования системы iRecovery всегда связан с большой потребностью в технологическом паре, т. е. о системе iRecovery следует задуматься, когда действующая система охлаждения нуждается в реконструкции и модернизации либо когда предполагается сооружение новой печи. ■

### Библиографический список

- [1] D. Zuliani, V. Scipolo, J. Maiolo: Opportunities for Increasing Productivity and Lowering Operating Costs while Reducing GHG Emissions in Steelmaking. AISTech Conference, Pittsburgh, 2010.
- [2] H. Schliephake, F. Memoli, J. Simmons, R. Granderath, C. Born: Heat recovery for the EAF of Georgsmarienhütte. AISTech Conference, Pittsburgh, 2010.
- [3] C. Born, R. Granderath: The Challenge of Heat Recovery in Integrated Steel Plants. AISTech Conference, Indianapolis, 2011.
- [4] R. Seki, M. Yamazaki, Y. Sato: Hybrid way EAF off-gas heat recovery. AISTech Conference, Indianapolis, 2011.
- [5] W.-D. Streinmann, M. Eck: Buffer storage for direct steam generation. Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), 2005.

# Присоединяйтесь к лучшему

7 – 11 апреля 2014 г.

Дюссельдорф, Германия

Международная выставка трубной промышленности

## Место встречи: Tube 2014 в Дюссельдорфе!

присоединяйтесь к лучшему — добро пожаловать на специализированную выставку трубной промышленности № 1 в мире!

Те, кто хотел бы получить всеобъемлющую информацию о последних инновациях, касающихся труб, трубопроводов и трубных изделий, технологий и оборудования производства труб, могут прекратить свои поиски. Все это будет представлено на ведущем международном выставочном форуме, который станет местом встречи экспертов, специалистов и лидеров рынка из разных стран.

**Специальная центральная тематика выставки Tube 2014:** пластиковые трубы, для которых будет выделена отдельная зона. Это связано с тем, что вопрос о материалах для труб становится все более актуальным.

Важная фиксированная дата в вашем календаре — посещение выставки **Tube 2014 в Дюссельдорфе!**

# Tube®

## Düsseldorf

Промышленный партнер  
Организационный спонсор



[www.tube.de](http://www.tube.de)



Заводы  
и оборудование



Оборудование  
для отделки  
труб



Технология гибки  
и формовки



Производство  
и продажа труб



Изделия из труб



Профили