

# Переработка сырья и ресурсосбережение

УДК 669.18

**Рудыка В.И.**, канд. эконом. наук  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ГИПРОКОКС», Харьков  
ул. Сумская, 60, 61002 Харьков, Украина, e-mail: qiprokoks@ic.kharkov.ua

## Потенциал технологий прямого восстановления железа и направления его использования в металлургическом производстве (Обзор)

Представлен краткий обзор состояния мировой и европейской металлургии. Определен круг актуальных задач, стоящих перед сталелитейным производством ЕС, а также роль и значение в их решении альтернативных технологий производства чугуна. Приведена информация о статусе этих технологий и направлениях их возможного использования в ЕС. Отмечена актуальность данной темы для украинского металлургического производства. *Библ. 5, рис. 9, табл. 1.*

**Ключевые слова:** чугун, сталь, железо, руда, восстановление, эмиссия CO<sub>2</sub>.

В последние годы все больше внимания уделяется рассмотрению вопроса о том, подходит ли нынешняя технология доменного производства чугуна для металлургического производства будущего. Восстановление железной руды с использованием в доменной плавке углеродсодержащих восстановителей неизбежно приводит к образованию углекислого газа и его эмиссии в окружающую среду. Кроме того, эта технология сопряжена с затратами почти 90 % энергии, расходуемой для производства стали.

Дальнейшее использование при производстве металла классической цепочки «доменная печь (ДП) — кислородный конвертер (КК)» все чаще увязывают с альтернативными, более эффективными и экологически безопасными процессами выплавки чугуна.

### Мировой и европейский сценарий

Согласно данным Всемирной ассоциации стали (WSA), в 2015 г. в мире металлургия выпла-

вила 1,621 млрд т сырой стали и 1,155 млрд т чугуна [1]. Доменная плавка занимает главенствующее место в производстве металлургического сырья для выплавки стали. Основными технологиями сталелитейного производства являются выплавка в кислородном конвертере (75 %) и выплавка в электродуговой печи (ЭДП) (25 %) (рис.1) [2].

В 2015 г. в ЕС-28 было выплавлено 166 млн т сырой стали и 95,2 млн т чугуна. На долю технологической цепочки ДП—КК приходится 61 % выплавки стали, на долю электросталеплавильного производства — 39 %.

Сокращение расхода энергии и эмиссий CO<sub>2</sub> является одной из насущных задач, стоящих перед европейской металлургией.

Технология ДП—КК останется главенствующей в производстве металла в обозримом будущем. За прошедшие годы европейские металлурги достигли значительных успехов в ее усовершенствовании и оптимизации, но уже



Рис.1. Долевое участие технологий выплавки стали по регионам мира.

имеющиеся высокие термодинамические показатели доменной плавки практически исчерпали свой потенциал для дальнейшего сокращения расхода энергоносителей и эмиссий  $\text{CO}_2$  [3].

**Актуальные задачи, стоящие перед европейской металлургией, и намечаемые пути их решения.** Оценивая перспективы дальнейшего использования классической технологии производства чугуна в доменных печах, европейские специалисты концентрируют внимание на двух основных вопросах:

- имеются ли возможности для существенного повышения в будущем энергетической эффективности этого процесса;
- можно ли сократить неизбежные при данной технологии эмиссии  $\text{CO}_2$ .

Согласно докладу Еврокомиссии, промышленность Европы должна к 2030 г. сократить

эмиссии  $\text{CO}_2$  на 30–40 % в сравнении с 1990 г. и на 83–87 % к 2050 г.

В коммунальной сфере ЕС на период до 2050 г. Еврокомиссией предложено сокращение эмиссий  $\text{CO}_2$  на 80 %, посредством технологических усовершенствований — на 20 %.

Ожидают, что металлургия ЕС как один из крупнейших потребителей энергии внесет существенный вклад в решение поставленной задачи.

Согласно действующему в ЕС руководящему документу «Наилучшие имеющиеся техно-

нологии» (BAT), эмиссии производства стали на базе доменного процесса не должны превышать 1475 кг  $\text{CO}_2$ /т сырой стали. Благодаря оптимизации процесса эмиссии уже приблизились к теоретическому минимуму — 1371 кг  $\text{CO}_2$ /т сырой стали. Считается, что дальнейшее существенное сокращение эмиссий в сравнении с установленными предельными величинами возможно благодаря применению процессов производства чугуна, способных улучшить экономику классической технологической цепочки и снизить эмиссии  $\text{CO}_2$ . К таким технологиям относят достаточно освоенные на протяжении многих лет и распространенные технологии прямого восстановления железа (ПВЖ) и восстановления железа плавкой. Получаемый посредством этих технологий продукт с высо-



Рис.2. Схема производства сырой стали.

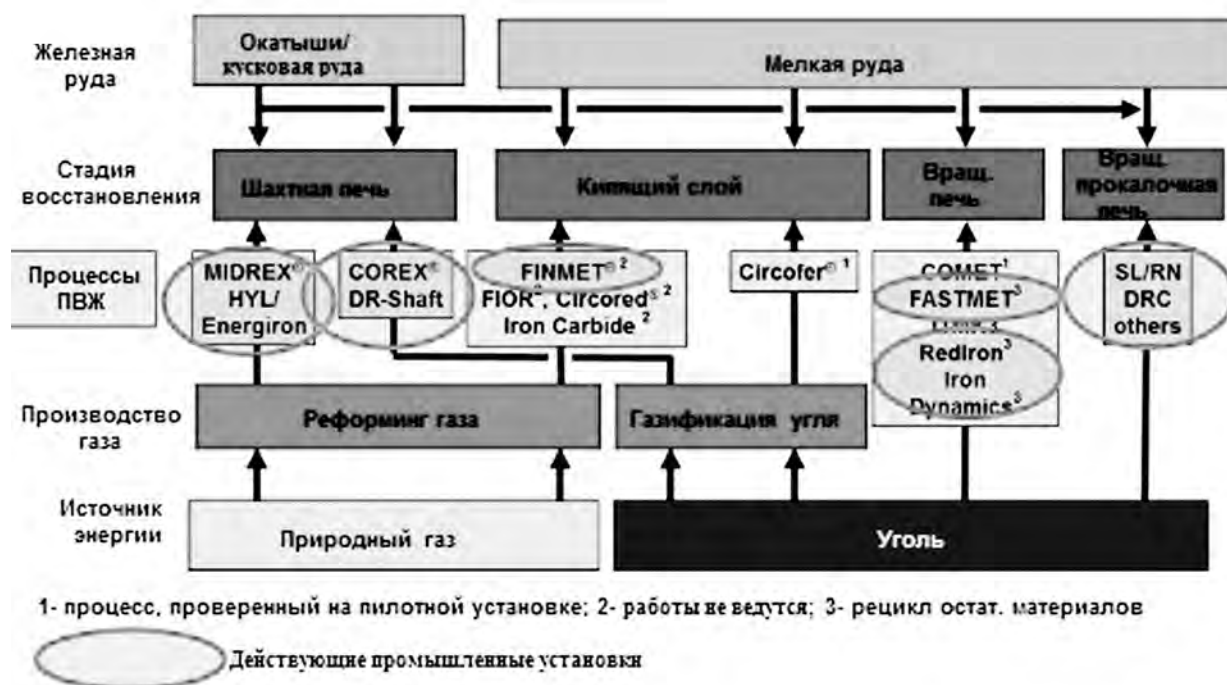


Рис.3. Классификация процессов ПВЖ.

ким содержанием металла является хорошим сырьем для доменных и электродуговых сталеплавильных печей. Данные технологии интегрированы в мировой металлургический комплекс.

На рис.2 представлена схема современного производства сырой стали с участием технологий ПВЖ и восстановления плавкой [4].

Производство стали в кислородном конвертере основано на использовании в качестве сырья доменного чугуна или железа, полученного восстановлением плавкой.

Выплавка стали в электродуговой печи базируется на использовании скрапа или железа, полученного из руды прямым восстановлением.

В отличие от доменного процесса для ПВЖ и восстановления плавкой кокс не требуется. Эти две технологии рассматриваются как альтернатива производству металла из железной руды, не требующая коксового производства.

**Прямое восстановление железа.** Все процессы ПВЖ имеют целью конверсию железной руды в губчатое железо (железо прямого восстановления — ЖПВ и горячеприкатированное железо — ГБЖ со степенью металлизации 85–95 %). Они классифицируются по типу восстановительных агентов (природный газ и уголь), а также по гранулометрическому составу железной руды (рис.3).

Эти процессы также классифицируют по типу технологии или реакторов (аппаратов), используемых для восстановления: шахтная печь, реактор с кипящим слоем, вращающаяся печь, вращающаяся прокалочная печь и т.п. В них природный газ конвертируется реформингом в восстановительный газ, содержащий  $H_2$  и  $CO$ , а уголь подвергается газификации с получением восстановительного газа (смесь  $CO$  и  $H_2$ ), который подается в шахтную печь или в аппарат с кипящим слоем. Уголь как восстановитель подается непосредственно во вращающуюся подовую печь либо вращающуюся прокалочную печь.

Технология с шахтной печью используется для всех процессов, связанных с кусковой железной рудой или окатышами. Мелкая руда подвергается обработке в аппаратах с кипящим слоем, во вращающихся прокалочных печах или на ступени предварительной агломерации во вращающихся подовых печах.

В 2015 г. основной объем ЖПВ был произведен с использованием двух процессов, основанных на природном газе и шахтной печи: MIDREX® (63,1 %) и HYL/Energiron (16,0 %); 20,2 % объема ЖПВ было выплавлено с использованием угля в основном во вращающихся прокалочных печах.

**Восстановление железа плавкой.** Общим для этих технологических процессов явля-



Рис.4. Классификация процессов восстановления железа плавкой.

ется непосредственное использование в качестве восстановителя угля, что исключает необходимость в коксе (рис.4).

Вышеперечисленные технологии классифицируются согласно процессам, которые происходят на стадии плавления, где ЖПВ в плавильнике-газификаторе конвертируется в чугун. ЖПВ производится в аппарате (реакторе) с восходящим потоком: в шахтной печи для COREX® или в реакторе с кипящим слоем для FINEX®. Процессам, где используются ванны для расплавленного металла и шлака, присуще восстановление плавкой руды или частично предварительно восстановленной руды в присутствии угля и горячего дутья, обогащенного кислородом. Известен процесс, где в качестве источников энергии на стадии плавления (в реакторе с ванной для чугуна) используются уголь и электричество.

Кроме того, технологии восстановления плавкой дифференцируются по гранулометрическому составу железной руды (кусковая, мелкая) и по стадиям предварительного восстановления (в шахтной печи, кипящем слое, циклоне, вращающейся печи).

Лидерами в процессах восстановления железа плавкой являются COREX® и FINEX®.

**Статус альтернативных технологий.** В 2015 г. мировое производство ЖПВ составило 72,6 млн т [5], что несколько ниже уровня 2014 г. (74,6 млн т). Это объясняется снижением мирового объема выплавки стали на 2,5 % (или на 2,9 % с исключением Китая) и

сопряженным с ним падением цен на металлургическую продукцию. Эта ситуация, в свою очередь, была вызвана сокращением спроса на металлопродукцию и переизбытком металлургических мощностей в Китае.

В пятерку крупнейших производителей ЖПВ в 2015 г. вошли такие страны, млн т: Индия – 17,68; Иран – 14,55; Саудовская Аравия – 5,8; Мексика – 5,5; Россия – 5,44.

В таблице представлены данные о доле различных технологий в производстве ЖПВ в период 2013–2015 гг.

В 2015 г. лидирующие позиции занимала технология ПВЖ MIDREX®, с использованием которой было получено 47,75 млн т чугуна (63 % мирового объема ЖПВ). В стадии строительства находится около 25 млн т мощностей; только в Иране строится восемь новых установок с технологией MIDREX®, в других странах создается 8,8 млн т мощностей.

В 2014 г. годовое производство железа, восстановленного плавкой, составило 6 млн т в Индии, Южной Африке и Южной Корее, что приходится в основном на две технологии – COREX® и FINEX®. В ЕС-28 пилотная уста-

#### Доля технологий в производстве ЖПВ (%)

Технологии	2013 г.	2014 г.	2015 г.
MIDREX®	63,5	63,2	63,1
HYL/Energiron	15,1	16,2	16,0
Другие, основанные на газе	0,2	0,0	0,7
Основанные на угле	21,3	20,6	20,2

новка с технологией HIsarna с использованием мелкой руды и угля эксплуатировалась в Нидерландах, а отработка этого процесса осуществлялась с 2004 г. в рамках программы ULCOS (Производство стали со сверхнизкими эмиссиями CO<sub>2</sub>).

С 2001 г. мировые мощности ПВЖ стабильно росли в среднем на 4,3 % в год. Основными факторами такого роста были увеличившиеся во многих регионах мира потребности в металлизированном сырье для электросталеплавильного производства на фоне дефицита скрапа, а также способности технологий ПВЖ обеспечить качественным чугуном выплавку марочных сталей.

Рост объемов ПВЖ наблюдался в Венесуэле, ОАЭ; наибольшая концентрация ПВЖ продолжает оставаться в странах MENA (Ближний Восток и Северная Африка); новые, рекордные показатели производства ЖПВ достигнуты в Омане, Катаре, России и ОАЭ.

Технологии ПВЖ и восстановления плавкой получили распространение в странах, где нет интегрированных металлургических заводов, отсутствуют запасы коксующихся углей и производство кокса или имеются другие более благоприятные условия для строительства отдельно стоящих установок для производства ЖПВ.

Эксперты считают, что вопрос использования и распространения технологий прямого восстановления должен решаться в каждом конкретном случае, исходя из условий района намечаемого строительства с учетом наличия железорудного сырья, природного газа, коксующихся и других углей, скрапа и т.п.

В настоящее время эти технологии практически не получили распространения в ЕС, который в 2015 г. произвел с их применением всего лишь 0,7 млн т чугуна.

Интеграция современных технологий ПВЖ в европейские инфраструктуры была темой докладов, представленных на недавно состоявшемся VII Европейском конгрессе по производству кокса и чугуна – ЕСIC 2016 [2]. Тематика представленных участникам конгресса докладов по этому направлению сводилась в основном к следующему:

– оценке возможностей технологий прямого восста-

новления железа и восстановления плавкой в повышении энергетической эффективности и сокращении эмиссий CO<sub>2</sub> в металлургическом производстве Европы;

– восприятию технологий ПВЖ как гибкого инструмента в решении задач сокращения эмиссий CO<sub>2</sub> при выплавке чугуна и стали, а также снижения эксплуатационных затрат;

– новейшим технологическим усовершенствованиям освоенных технологий FINEX®, MIDREX®, Energiron, COREX® и оценке возможностей использования их в европейской металлургии.

### Потенциал альтернативных технологий и перспективные направления его использования в ЕС

Исходя из реалий, сложившихся в ЕС и его металлургии, замена цепочки ДП – КК в сочетании с ЭДП технологиями прямого восстановления, основанными на использовании природного газа, с целью сокращения эмиссий углекислого газа на данном этапе считается экономически нецелесообразной. Ставится вопрос об интеграции этих технологий в сложившиеся структуры металлургических заводов. Выполнена всесторонняя оценка потенциала альтернативных технологий и их сравнение с классической схемой производства металла, предложено для рассмотрения несколько комбинаций технологических схем.

Сравнение технологических схем производилось для сопоставимых условий с учетом

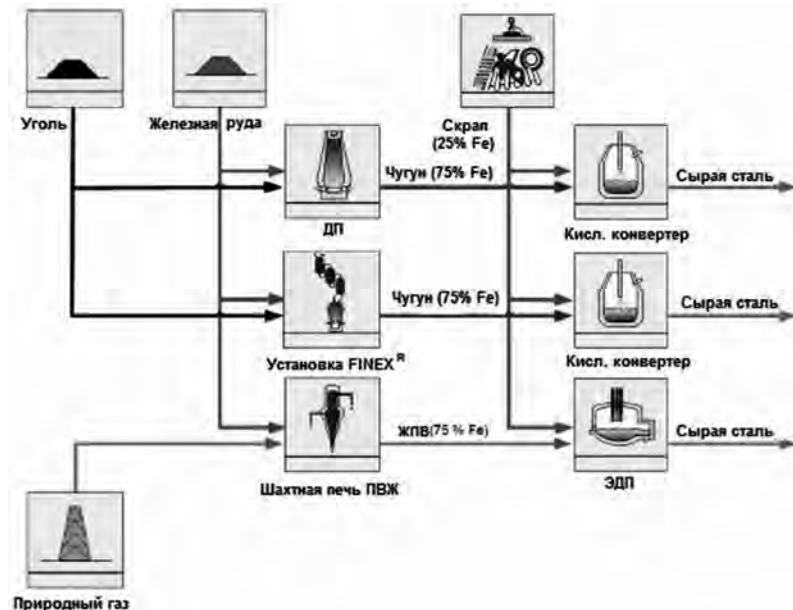


Рис.5. Сравнение технологических потоков производства стали на базе железной руды.



Рис.6. Использование коксового газа для ПВЖ на интегрированном металлургическом заводе.

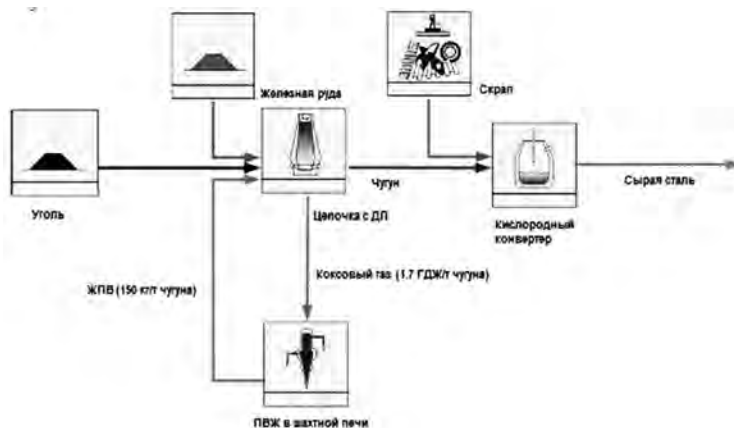


Рис.7. Использование коксового газа для производства ЖПВ с загрузкой его в ДП.

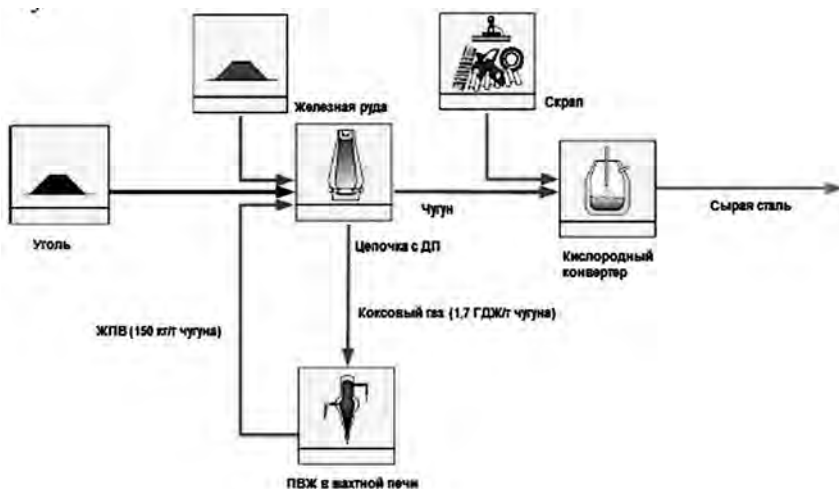


Рис.8. Комбинация ДП и FINEX® с использованием ЖПВ с низким содержанием металла.

мощностей (доменных печей — 500–14500 т чугуна/сут; одного самого большого модуля установок прямого восстановления MIDREX®, HyL/Energiron и восстановления плавкой COREX® и FINEX® на уровне мощности средней ДП — около 6000 т/сут ЖПВ/ГБЖ).

На рис.5 представлена конфигурация трех технологических потоков производства стали, которые были выбраны для сравнения по энергетическому балансу и эмиссиям  $\text{CO}_2$ .

Выполнено сравнение следующих технологических потоков (цепочек):

- доменная печь + кислородный конвертер;
- восстановление плавкой FINEX® + кислородный конвертер;
- ПВЖ в шахтной печи + ЭДП.

Принято, что загрузка кислородного конвертера и ЭДП содержала 25 % скрапа.

В энергетическом балансе цепочек ДП — конвертер и FINEX® — конвертер учитывались потребность в ископаемом топливе и для самих процессов, и для производства электроэнергии, а также утилизируемая энергия отходящего газа обоих потоков.

У цепочки ПВЖ в шахтной печи — ЭДП нет утилизируемой энергии отходящего газа, но она имеет самое низкое потребление энергии первичного ископаемого топлива.

Потребность в энергии первичного ископаемого топлива для производства электричества рассчитывалась с КПД 43 %, который соответствует среднему КПД конверсии ископаемого топлива в электричество в Германии в 2013 г. Расход энергии трех цепочек находится на сопоставимом уровне, при этом

цепочка ПВЖ в шахтной печи — ЭДД имеет самый высокий чистый расход энергии, а цепочка ДП — конвертер самый низкий.

Кроме энергетического баланса, большой интерес представляют эмиссии  $\text{CO}_2$ . Они определялись по методике Всемирного ресурсного института (World Resource Institute). Учитывались прямые эмиссии  $\text{CO}_2$  при конверсии ископаемого углерода и реакции прокаливания, то есть эмиссии на заводской площадке, а также не прямые, то есть эмиссии производства электроэнергии, кислорода и сырьевых материалов (окавшей, обожженного известняка). Не учитывались эмиссии  $\text{CO}_2$  при утилизации энергии отходящего газа или шлака.

Цепочки ДП — конвертер и FINEX® — конвертер имеют прямые эмиссии  $\text{CO}_2$  (эмиссии самих цепочек) на уровне 1700 кг/т жидкой стали. У цепочки ПВЖ в шахтной печи — ЭДП они самые низкие, а именно: 600 кг/т жидкой стали на заводской площадке, что соответствует 35 % величины эмиссии, характерной для доменной выплавки чугуна (в связи с более низким содержанием углерода в природном газе в сравнении с углем). Сумма прямых и не прямых эмиссий этой цепочки составляет 1200 кг/т жидкой стали, что на 35 % меньше, чем у двух других цепочек.

Однако переход в ЕС от технологии ДП — конвертер к технологии ПВЖ в шахтной печи — ЭДП будет сопряжен с проблемами. К примеру, в 2013 г. в ЕС по технологии ДП — конвертер выплавляли 103,2 млн т сырой стали. Замена ее альтернативной технологией ПВЖ в шахтной печи — ЭДП, имеющей целью сокращение эмиссий  $\text{CO}_2$ , привела бы к сокращению расхода угля на 18 %, но к увеличению расхода природного газа на 11 %, а общее потребление энергии сократилось бы только на 0,6 %.

Учитывая политические и экономические условия, надежность поставки природного газа в Европу не может быть обеспечена. Производители стали будут искать новые рынки газа, что поставит их в еще большую зависимость от этих рынков. Кроме того, не будет достаточно отходящего газа на производственных площадках для выработки собственной электроэнергии, что означает необходимость поставки ее от внешних источников.

**Комбинация технологических цепочек.** Выгоды, которые могут получить существующие интегрированные металлургические заводы от технологий восстановления железа в части сокращения энергопотребления и эмиссий  $\text{CO}_2$ , сводятся к следующему.

Коксовый газ может быть использован в технологии ПВЖ в шахтной печи, после чего железо будет конвертировано в сырую сталь в ЭДП (рис.6).

Для этого направления потребуются инвестиции в строительство установки ПВЖ и ЭДП. Для других потребителей метзавода коксового газа не хватит, и его надо будет заменить природным газом. Производство стали увеличится на 17 %, расход чистой энергии уменьшится на 3 %, а удельные эмиссии  $\text{CO}_2$  сократятся на 10 %.

Еще одной опцией может быть загрузка ЖПВ, полученного с использованием коксового газа, в ДП (рис.7). Производство стали в этом случае увеличится на 5–7 %, потребление энергии сократится на 3 %, а удельные эмиссии  $\text{CO}_2$  на 6 %.

Комбинация доменного процесса и FINEX® (рис.8) увеличит выплавку чугуна для конвертерного производства или может сократить потребность в мощностях доменного, агломерационного и коксового производств. Кроме того, FINEX® может обеспечить производство восстановленного железа с содержанием металла 50–70 %, которое можно загружать в ДП вместо агломерата. В этом случае сократится потребность в восстановителях для ДП (на 40 кг угля на 1 т чугуна), а удельные эмиссии  $\text{CO}_2$  уменьшатся на 100 кг/т сырой стали.

Таким образом, интеграция технологий ПВЖ и восстановления плавкой в схему метал-

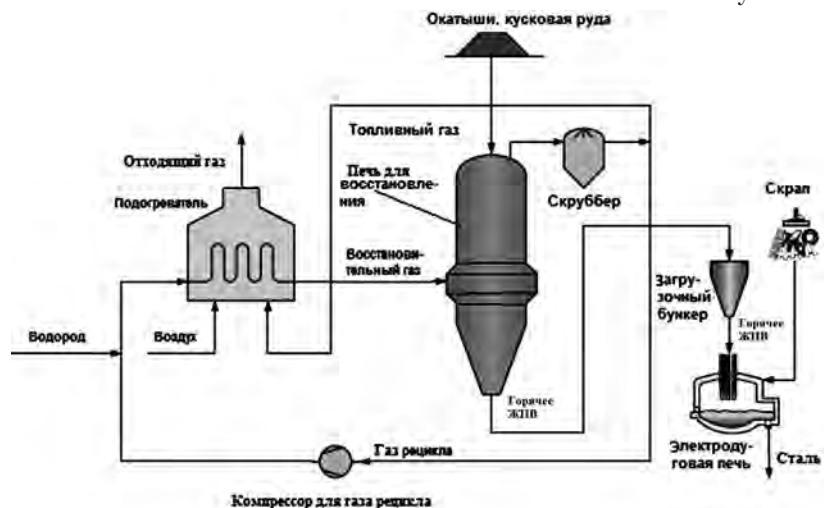


Рис.9. Производство стали, основанное на возобновляемой энергии.

лургического завода с полным циклом дает возможности для сокращения расхода энергии и удельных эмиссий  $\text{CO}_2$ . Процессы ПВЖ, основанные на природном газе, имеют меньшие эмиссии  $\text{CO}_2$  в сравнении с основанными на использовании угля доменной плавкой и восстановлением железа плавкой. Одной из ключевых задач при решении данного вопроса является улавливание, хранение и использование  $\text{CO}_2$  в сочетании с потреблением ископаемого топлива. Достижимые величины возможного сокращения эмиссий  $\text{CO}_2$  еще не отвечают требованиям, выдвинутым Еврокомиссией и установленным другими действующими в ЕС документами.

В связи с этим на повестке дня стоит вопрос развития возобновляемой энергетики и производства на ее базе водорода как восстановителя для металлургии. Это одна из ключевых задач в создании европейского общества, свободного от выбросов углерода. Проблемными остаются вопросы использования солнечной энергии и энергии ветра, ибо они не обеспечивают постоянства производства электроэнергии, а также вопросы конверсии их в водород посредством электролиза воды. При их решении водород станет доступным для металлургии, появится возможность для реализации схемы производства стали, основанного на возобновляемой энергии (рис.9).

В ближайшие десятилетия необходимо сделать европейскую металлургию пригодной для эффективного использования водорода как ключевого ресурса в производстве чугуна, а также создание инфраструктуры с мощностями для электролиза воды и безопасной системы хранения водорода и транспортирования его по трубопроводам.

### Выводы

Украина имеет развитую металлургическую промышленность, продукция которой в больших объемах экспортируется, что является источником поступления в страну инвалюты. В 2015 г. в Украине было произведено 23,0 млн т сырой стали, и страна продолжала оставаться в числе десяти крупнейших мировых производителей. Однако технологическая база отрасли требует дальнейшего повышения ее технического уровня и гибкости. Это обусловлено дефицитом сырьевых и энергетических ресурсов (коксующихся углей, кокса, нефти, природного газа), ограниченным распространением современных электросталеплавильных технологий, отсутствием в структуре отрасли процессов получения губчатого железа, необходимостью принятия действенных мер по сокращению эмиссий  $\text{CO}_2$  и поиску решений по улавливанию, хранению и использованию  $\text{CO}_2$  и др.

Подходы и опыт европейских металлургов в решении ряда аналогичных проблем представляются весьма интересными и полезными для отечественных специалистов. Прежде всего это касается сокращения потребления энергии, квалифицированного использования профицитных низкосортных каменных углей, создания высокоэффективных восстановителей и решения проблем, связанных с углекислым газом.

В настоящее время в г. Харькове под патронатом Президента НАН Украины работают отраслевые НИИ, проектные и вузовские организации во главе с ГП «ГИПРОКОКС», которыми в партнерстве с научными институтами НАН Украины (Институтом газа и др.) предложено создать в Украине высокотехнологический комплекс по производству синтетического газа ( $\text{H}_2 + \text{CO}$ ) газификацией профицитных украинских каменных углей.

Рассматриваются четыре приоритетных направления использования синтез-газа:

- 1) для производства синтетического жидкого (моторного) топлива;
- 2) для использования в технологии прямого восстановления железа;
- 3) для производства химических удобрений;
- 4) для производства водорода.

Выполнены соответствующие технико-экономические расчеты, проводится комплекс необходимых научных работ и исследований.

Украинским организациям — участникам реализации данного проекта — будет также полезен опыт европейских металлургов в решении вопросов использования технологий ПВЖ, выборе наиболее рациональных направлений использования газа (природного, коксового, доменного, конвертерного), в выборе технологий газификации углей, а также в создании водородной энергетики.

### Список литературы

1. World Steel in figures 2016 — World Steel Association. — Access mode: <https://worldsteel.org>
2. Buelgler T., Kofler I. Direct reduction technology as a flexible tool to reduce the  $\text{CO}_2$  intensity of iron and steelmaking // 7th European Coke and Ironmaking Congress — ECIC 2016, Linz, Austria, 12–14 Sept. 2016.
3. Schmoele P. The blast furnace — fit for the future?. // 7th European Coke and Ironmaking Congress — ECIC 2016, Linz, Austria, 12–14 Sept. 2016.
4. Schenk J., Lungen H.V. Evaluation of the capabilities of direct and smelting reduction processes to enhance the energy efficiency and to reduce the  $\text{CO}_2$  emission of the steel production in Europe. // 7th European Coke and Ironmaking Congress — ECIC 2016, Linz, Austria, 12–14 Sept. 2016.
5. 2015. World Direct Reduction Statistics. — Access mode: [www.midrex.com](http://www.midrex.com)

Поступила в редакцию 23.02.17



**Рудика В.І.**, канд. економ. наук  
**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ГІПРОКОКС», Харків**  
вул. Сумська, 60, 61002 Харків, Україна, e-mail: giprokoks@ic.kharkov.ua

## **Потенціал технологій прямого відновлення заліза та напрямки його використання у металургійному виробництві (Огляд)**

Наведено короткий огляд стану сучасної світової та європейської металургії. Визначено коло актуальних завдань, які стоять перед сталеварним виробництвом ЄС, а також роль та значення у їх вирішенні альтернативних технологій виробництва чавуну. Приведено інформацію про статус цих технологій та напрямки їх можливого застосування у ЄС. Відзначено актуальність даної теми для українського металургійного виробництва. *Бібл. 5, рис. 9, табл. 1.*

**Ключові слова:** чавун, сталь, залізо, руда, відновлення, емісія CO<sub>2</sub>.

**Rudyka V.I.**, Candidate of Economic Sciences  
**STATE ENTERPRISE «GIPROKOKS», Kharkov**  
60, Sumska Str., 61002 Kharkov, Ukraine, e-mail: giprokoks@ic.kharkov.ua

## **Potential of the DRI Technologies and Directions of its Usage in Iron and Steel Production (Review)**

The brief review of the state of modern world and european metallurgy is presented. A range of problems of current importance to european steel production is highlighted together with the role and significance of alternative technologies of hot iron production in their solution. Information reflecting the status of these technologies as well as directions of their potential usage in the EU is provided. The actuality of the above subjects for CO<sub>2</sub> ukrainian iron and steel production is noted. *Bibl. 5, Fig. 9, Tab. 1.*

**Key words:** iron, steel, ore, reduction, emission CO<sub>2</sub>.

### **References**

1. World Steel in figures 2016 – World Steel Association. – Access mode: <https://worldsteel.org>
2. Buelgler T., Kofler I. Direct reduction technology as a flexible tool to reduce the CO<sub>2</sub> intensity of iron and steelmaking, *7th European Coke and Ironmaking Congress – ECIC 2016*, Linz, Austria, 12–14 Sept. 2016.
3. Schmoele P. The blast furnace – fit for the future? *7th European Coke and Ironmaking Congress – ECIC 2016*, Linz, Austria, 12–14 Sept. 2016.
4. Schenk J., Lungen H.B. Evaluation of the capabilities of direct and smelting reduction processes to enhance the energy efficiency and to reduce the CO<sub>2</sub> emission of the steel production in Europe, *7th European Coke and Ironmaking Congress – ECIC 2016*, Linz, Austria, 12–14 Sept. 2016.
5. 2015. World Direct Reduction Statistics. – Access mode: <https://www.midrex.com>

Received February 23, 2017