

**6. АГРОХХИ** [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/biobezopasnost/dioksinofobija-fakty-i-domysly.html>.

*УДК 621.511*

**П.В. ЯРОШЕВИЧ,  
И.А. ТРУСОВА, д-р техн. наук (БНТУ)**

### **АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В МЕТАЛЛУРГИИ**

По данным аналитиков и специалистов ежегодный рост мощности потребляемой электроэнергии в мире опережает освоение новых месторождений и добычу энергетических ресурсов [1]. В связи с этим все более актуальным является использование вторичных энергоресурсов (ВЭР), образующихся в такой энергоемкой отрасли как металлургия.

Следует отметить, что в условиях крупных интегрированных металлургических заводов (предприятий с полным металлургическим циклом) все образующиеся ВЭР (см. таблицу) используются достаточно полно. Это обусловлено, в первую очередь, тем, что такие предприятия работают в режиме непрерывного цикла и в этом случае создаются наиболее благоприятные условия для утилизации теплоты ВЭР.

Таблица – Распределение ВЭР по основным переделам черной металлургии

Производство	% к общему по отрасли	% к выходу
Коксохимическое	42	90
Доменное	37	85
Мартеновское	15	60
Прокатное	7	40
По отрасли	100	80

Несколько иная ситуация складывается на металлургических предприятиях с неполным циклом (металлургических мини-заводах), на которых основными источниками ВЭР являются:

- отходящие дымовые газы от ДСП и установок «печь – ковш»;
- физическая теплота непрерывнолитых заготовок;
- теплота готового продукта в прокатном производстве.

При этом наибольшим тепловым потенциалом обладают отходящие газы в электросталеплавильном производстве.

Следует отметить, что несмотря на кажущуюся постоянную долю электростали в общем мировом объеме производства стали за последние 15–20 лет, ее абсолютная величина ежегодно растет. Это связано с тем, что Китай (доля которого в общем производстве превышает 50 %) в основном наращивает объемы за счет кислородно-конвертерного производства. Если же не учитывать Китай, то доля электростали выросла за последние два десятилетия с 30 до 45 %, а к 2050 г. прогнозируется на уровне 50 % [1].

Среди технологического оборудования, являющимся наиболее энергоемким, безусловно, следует отметить сталеплавильное, а именно ДСП. Так, по данным работы [2], на Белорусском металлургическом заводе электросталеплавильный комплекс потребляет 65 % всех топливно-энергетических ресурсов.

Среди достаточно изученных направлений использования ВЭР от электропечей следует отметить предварительный подогрев металлолома, при этом подогрев может осуществляться в отдельных бадах либо в шахтных печах.

Загрузочные бады бывают:

- а) стандартные (температура нагрева лома до 400 °С);
- б) специальные, при температуре нагрева выше 400 °С но не более 700–800 °С, так как в противном случае увеличивается окисление металла.

Порционный нагрев лома в загрузочных бадах известен с начала 80-х годов. Эту технологию разработали в период энергетического кризиса и, например, в Японии построили около 50 таких установок. Реализация способа в определенной степени способствует энергосбережению (расход электроэнергии снижается на 20–40 кВт·ч/т). Однако подогретый лом в период загрузки в печь выделяет дым, загрязняя атмосферу в цехе, а выделение вредных

веществ на выходе из системы газоочистки создает условия для загрязнения окружающей среды. Решение этой проблемы найдено не было, и большинство установок подогрева лома перестали эксплуатировать.

В настоящее время применяют нагрев в специальных бадьях из жаропрочной антикоррозионной стали. Обычно нагревают лом до среднемассовой температуры 250–350 °С при температуре газа на входе 400–800 °С. Например, в работе [3] предложено техническое решение для нагрева лома в загрузочных «бадьях-термосах» при использовании радиационной горелки. Это позволило снять некоторые ограничения по температуре нагрева шихты, однако и в этом случае температура нагрева шихты не превышала 600 °С при нагреве корпуса бадьи до 250–350 °С (по требованиям техники безопасности для грузоподъемного оборудования). Предложенное решение предполагает нагрев шихты для печей литейного класса (6-т ДСП).

При предварительном нагреве шихты в шахтных печах различают следующие типы конструкций:

- обычная шахта – загрузка до 60 % шихты, шахта может отводиться в сторону для загрузки в печь остальной шихты;
- шахта с удерживающими пальцами;
- двухкамерная шахта с удерживающими пальцами;
- центральная шахта над корпусом печи (фирма «Comelt»);
- внешний реактор – проект фирмы «Contiarc».

Шахтная дуговая печь с обычной шахтой, отводящейся в сторону, конструкции фирмы Fuchs Systemtechnik создана на базе обычной дуговой печи переменного тока, объем которой увеличен с помощью шахты, устанавливаемой над сводом печи. Первые печи с одной шахтой фирмы Фукс были построены на заводах фирмы ДДС в Дании и Ко-Стил в г. Шинес, Великобритания. Лом подогревается в шахте печи за счет теплоты отходящих газов и с помощью газокислородных горелок мощностью по 4 МВт каждая, встроенных в нижней части шахты. Температура подогрева лома до 400 °С.

Шахты с удерживающими пальцами печей в нижней части оборудованы водоохлаждаемыми пальцами, поддерживающими лом уже в период рафинирования предыдущей плавки. После выпуска стали пальцы отводятся вниз и горячий лом падает на «болото».

Показатели работы печей достаточно высокие: подогрев лома (в количестве 100 %) до 750–850 °С; время плавки и доводки – 35 мин; экономия электроэнергии до 100 кВт·ч/т; экономия электродов до 30 %; сокращение выброса пыли на 25 %; прирост производительности до 40 %.

Дальнейшее развитие шахтной конструкции привело к созданию двухкамерной шахтной дуговой печи с удерживающими пальцами типа MSR. При работе на шихте, состоящей только из лома, расход электроэнергии в такой печи составляет менее 290 кВт·ч/т. Печь рассчитана на использование в шихте жидкого чугуна, что позволит дополнительно уменьшить расход электроэнергии.

Подогрев лома используется также в технологиях с центральной шахтой над корпусом печи (процесс «Comelt») и во внешнем реакторе (проект фирмы «Contiarc»). Эти разработки находятся в стадии проектирования и доработки.

В работе [4] немецкими разработчиками приведены итоги более чем 20-летнего опыта в области развития шахтных печей, а именно создание нового поколения печей под названием Quantum. В этих печах возможен подогрев 100 % лома, что приводит в итоге к длительности плавки менее 33 мин и удельному расходу электроэнергии < 280 кВт·ч/т. Основные преимущества: повышенная герметичность, оптимальное распределение лома за счет трапециевидной формы шахты, увеличение массы «болота», плавление шихты без скачков напряжения и др. Вместе с тем полагаем, что вопросы экологии для таких печей решены не в полной мере.

Безусловно, среди последних и перспективных разработок следует отметить ДСП типа Consteel. В настоящее время в мире функционирует более 60 установок [1] и их количество будет увеличиваться. Это обусловлено следующими преимуществами: непрерывная загрузка и выгрузка; нагрев лома за счет конвекции (а не излучения), что является гораздо более эффективным способом передачи энергии; стабильность электрической дуги; пониженный уровень шума, меньшее количество пыли.

Вместе с тем представляют интерес и другие направления использования ВЭР, которые не имеют очень высокую эффективность и в то же время не требуют капитальных затрат. К таким источникам энергии относят низкочастотные ВЭР, с которыми однако теряется более 50 % поступающего энергоресурса [1], например,

физическая энергия воды с температурой 30–150 °С, газов (пара) – 30–350 °С. При таких температурах теплоносителя его использование для производства, например, электроэнергии неэффективно. Автор работы [1] предлагает три направления использования таких ВЭР:

1. Использование сезонных аккумуляторов теплоты.

2. Размещение в санитарной зоне предприятий установок по биоконверсии солнечной энергии.

3. Включение в состав ТЭЦ цеха с турбинами при использовании сбросного тепла.

Получает распространение использование на ДСП систем испарительного охлаждения. Например, в работе [5] показано, что предлагаемая система для условий 120-т ДСП обеспечивает получение 0,08–0,1 т пара на 1 т выплавляемой стали. Аналогичное решение представлено в работе [2] для ДСП-3 РУП «БМЗ», в которой показано внедрение водоохлаждаемого контура газохода с использованием ВЭР в системе теплоснабжения.

### Список литературы

1. Подгородецкий, Г.С. Современные направления развития и повышения энерго-экологической эффективности черной металлургии / Г.С. Подгородецкий, Л.А. Шульц // Экология и промышленность России. – 2016. – Т. 20, № 4. – С. 46–52.

2. Сугойдь, А.Л. Управление энергоэффективностью в производстве и внедрение новейших энергосберегающих технологий на РУП «БМЗ» / А.Л. Сугойдь // Литье и металлургия. – 2010. – № 1-2. – С. 260–263.

3. Чаймелов, А.А. Энергоэффективный стенд для сушки и нагрева лома / А.А. Чаймелов, К.В. Строганов // Энергетика теплотехнологий. – 2018. – № 3. – С. 2–6.

4. 20 лет опыта с технологией подогрева лома / Й. Апфель [и др.] // Литье и металлургия. – 2015. – № 4. – С. 86–92.

5. Безбабный, С.Г. Система испарительного охлаждения газоотводящего тракта дуговой сталеплавильной печи / С.Г. Безбабный, Е.В. Тюпа, В.С. Манидин // Сталь. – 2015. – № 6. – С. 80–83.