

**А.Л. Чайка**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., зав. лаб., e-mail: chaykadp@gmail.com

**В.В. Лебедь**, науч. сотр., e-mail: vitalii.lebid@gmail.com

**Б.В. Корнилов**, мл. науч. сотр., e-mail: balesan2209@gmail.com

**А.А. Сохацкий**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: sokhatskyaa@ukr.net

**К.С. Цюпа**, мл. науч. сотр., e-mail: t.kirill.90@gmail.com

**В.Ю. Шостак**, мл. науч. сотр., e-mail: shostak.vu@gmail.com

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, г. Днепр, Украина

## Опыт и перспективы освоения рациональной технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива в Украине

*В работе приведены результаты существующего опыта и перспективы улучшения показателей доменной плавки при переходе печей от технологии работы с природным газом к технологии с применением пылеугольного топлива.*

**Ключевые слова:** доменная печь, пылеугольное топливо, показатели работы печи, профиль, система автоматизированного контроля, разгар футеровки, тепловые потери, загрузка.

**Введение.** Первые в мире опыты по вдуванию пылеугольного топлива (ПУТ) в доменную печь были проведены в 1948 г. на доменной печи объемом 427 м<sup>3</sup> завода им. Дзержинского в СССР, позднее – в США и Западной Европе. Первая в Украине промышленная установка для вдувания ПУТ в горн доменной печи объемом 1300 м<sup>3</sup> была построена на заводе «Запорожсталь» в 1966 г. по технологическому заданию Института черной металлургии (ИЧМ) и проекту Укргипромеза. С 1980 г. в металлургии Украины ПУТ применялось на печах малого объема Донецкого металлургического завода («ДМЗ»), оснащенных конусными загрузочными устройствами [1, 2]. Опыт применения ПУТ на малых печах «ДМЗ» не позволяет перенести его на современные доменные печи объемом 1500–5000 м<sup>3</sup>, в том числе на печи, оснащенные бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ).

В последние годы, из-за высокой цены природного газа и его дефицита, металлургические предприятия Украины переходят от технологии работы с природным газом к технологии доменной плавки с вдуванием ПУТ: ПАО «Алчевский металлургический комбинат» («АМК») – с 2009 года, ПАО «Запорожсталь» – с 2011 года, ЧАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича» («ММК им. Ильича») – с 2012 года, ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Дзержинского» («ДМКД») – с 2014 года, ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» («АМКР») и ЧАО «Енакиевский металлургический завод» («ЕМЗ») – с 2016 года, ЧАО «МК «Азовсталь» – с 2017 года.

Доменное производство столкнулось с организационными (качество сырья, технология) и техническими (уменьшение ресурса работы доменной печи и обслуживающих ее агрегатов) трудностями, которые уменьшают эффективность применения технологии ПУТ в Украине в сравнении с зарубежной практикой.

Переход доменного производства на технологию работы с ПУТ приводит к кардинальным изменениям в энергетическом и сырьевом балансах комбината. Однако, поскольку технологическая схема маршрута конвертерного производства железуглеродистого полупродукта осталась прежней, это уменьшает эффект от применения ПУТ в доменном производстве из-за сохранившихся жестких требований сталеплавильщиков к химическому составу чугуна и его температуре [1–10].

При переходе доменных печей Украины на технологию плавки с ПУТ изменились условия образования гарнисажа, восстановительной и тепловой работы газового потока, качество и химический состав топлива, что повлияло как на технологию ведения доменной плавки, так и на ее технико-экономические показатели и ресурс работы печей. Значительно уменьшился ресурс работы заплечиков и низа шахты печи, что снижает продолжительность кампании печи и является одной из главных причин ухудшения технико-экономических показателей доменной плавки и эффективности этой технологии на доменных печах Украины в сравнении с передовой мировой практикой [1–9].

Отличия в качестве кокса, железорудного сырья и углей для приготовления ПУТ, особенностях конструкции и технической оснащенности доменных печей Украины, в сравнении с зарубежными, требуют внедрения комплексных ресурсо- и энергосберегающих мероприятий, проведения научных исследований для изучения особенностей технологии и увеличения эффективности применения пылеугольного топлива.

**Показатели и технология плавки с ПУТ.** На основе результатов анализа отечественного и зарубежного опыта применения ПУТ на доменных печах, результатов исследований, выполненных специалистами ИЧМ на ПАО «АМК», ЧАО «ММК им. Ильича»,

ПАО «Запорожсталь», определены научно-практические направления увеличения эффективности освоения технологии доменной плавки с ПУТ в Украине (рис. 1).

На рис. 1 приведены отличия в показателях тепловой работы, дутьевом и газодинамическом режиме, в выходе и основности шлака, содержании кремния и серы в чугуне доменных печей ПАО «АМК», ЧАО «ММК им. Ильича» и ПАО «Запорожсталь» при увеличении расхода ПУТ в сравнении с передовой зарубежной практикой.

Расход кокса и условного топлива на доменных печах Украины в сравнении с зарубежной практикой больше на ~40 кг/т чугуна, а удельная производительность на 1 м<sup>3</sup> полезного объема меньше в среднем на 20 % при сопоставимом удельном расходе ПУТ.

С увеличением расхода ПУТ рациональными мероприятиями являются: увеличение расхода кислорода, давления под колошником, температуры дутья, уменьшение удельного расхода дутья на тонну чугуна. На большинстве доменных печей Украины, в силу недостаточной мощности воздуходувных машин и надежности конструкции элементов охлаждения шахты, заплечиков и фурм, данный подход не применяется.

При переходе на технологию работы с ПУТ необходимо улучшить качество шихты и изменить требования к содержанию кремния и серы в чугуне, что является дальнейшей перспективой.

Результаты исследований показали, что наиболее целесообразный путь уменьшения энергетических и других производственных затрат состоит в строительстве доменных печей большого объема, оснащенных современными бесконусными загрузочными устройствами, системами охлаждения, огнеупорами, средствами контроля тепловой работы, современным оборудованием для вдувания ПУТ и воздуходувными машинами, улучшении качества шихтовых материалов и совершенствовании технологии доменной плавки во взаимосвязи с другими переделами.

Применительно к условиям работы конкретного металлургического комбината необходимо разрабатывать требования и направления реализации ресурсо- и энергосберегающей работы доменных печей с применением пылеугольного топлива:

- модернизация конструкции и системы охлаждения, изменение профиля печей;
- улучшение шихтовых условий для доменного производства;
- применение БЗУ;
- увеличение мощности воздуходувных машин;
- совершенствование технологии доменной плавки;
- изменение требований по содержанию кремния и серы в чугуне за счет совершенствования маршрута производства стали «доменная печь – кислородный конвертер»;
- внедрение систем автоматизированного контроля разгара футеровки и образования гарнисажа, тепловых нагрузок, тепловых потерь в системе охлаждения и расхода кокса на их покрытие;
- оснащение доменной печи средствами контроля распределения шихты и газового потока (в первую

очередь автоматизированной системой отбора радиального газа с масс-спектральным газоанализатором).

**Ресурс работы доменных печей и конструкция их профиля.** Основными отличительными особенностями типовой конструкции доменных печей постсоветского пространства для выплавки передельного чугуна с применением природного газа являются (рис. 2):

- конструкция с опорным кольцом (маратором), на который опирается шахта и верх печи;
- вертикальные чугунные холодильники в заплечиках и до середины шахты;
- отсутствие охлаждения печи от середины шахты до колошника;
- футеровка шахты опирается на выступы «L»-образных холодильных плит;
- распар формируется футеровкой, а не вертикальной холодильной плитой;
- заплечики и шахта охлаждаются системами испарительного охлаждения (СИО) (за исключением ДП № 9 ПАО «АМКР» объемом 5000 м<sup>3</sup>, где заплечики и низ шахты охлаждаются технической водой из-за увеличения объема печи и увеличения тепловых нагрузок).

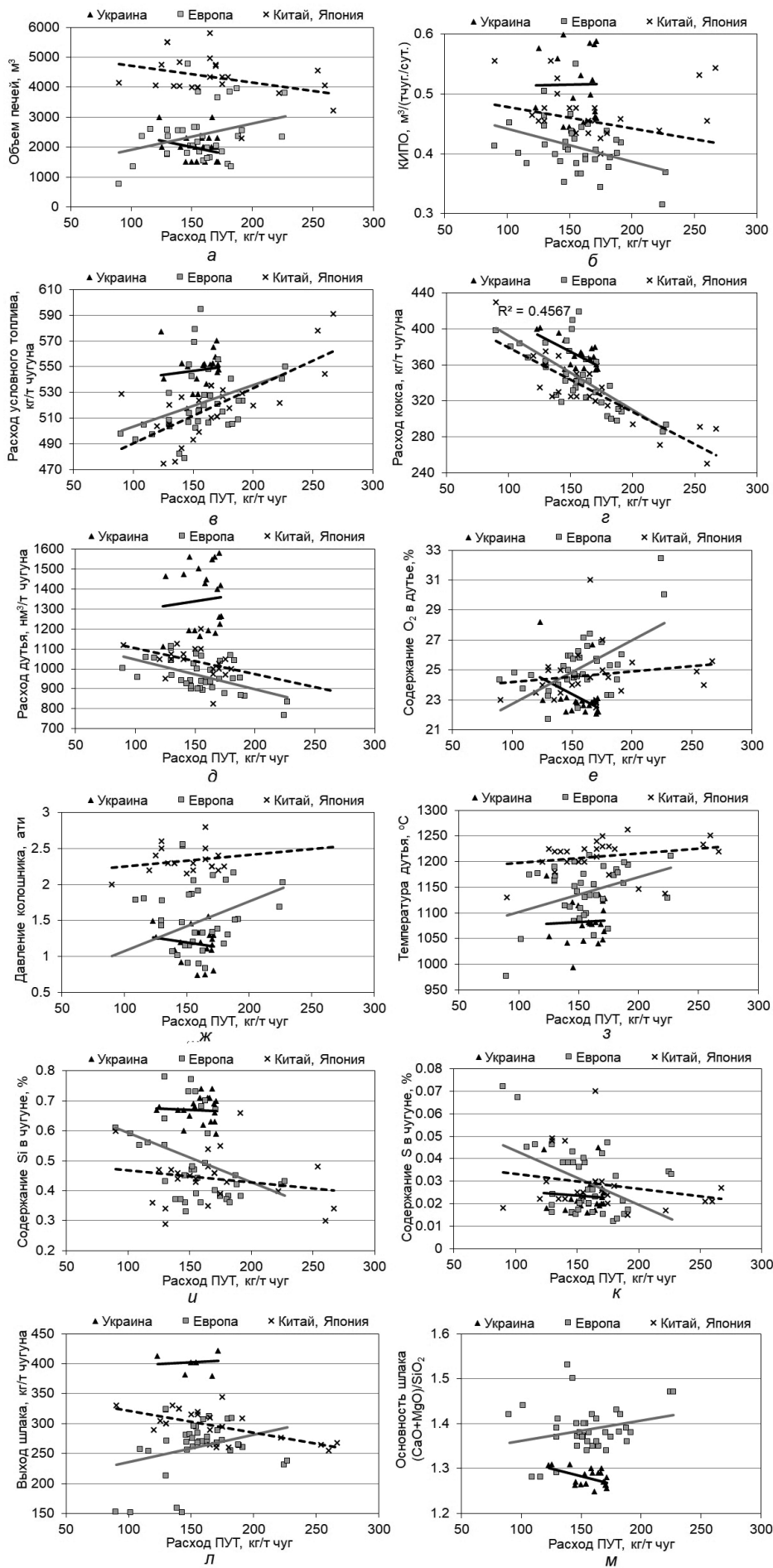
Конструкция доменной печи для работы с природным газом обеспечивала в среднем 10–15-летнюю кампанию, без применения дорогостоящих медных холодильников, и обеспечивала эффективное использование восстановительного потенциала природного газа за счет более «вытянутого» вверх и узкого в распаре профиля печи в сравнении с зарубежными конструкциями печи для ПУТ (рис. 2).

При переходе доменного производства Украины на технологию плавки с ПУТ в 2–3 раза уменьшился ресурс работы заплечиков и низа шахты печи, что снизило продолжительность кампании печи и стало одной из причин ухудшения технико-экономических показателей доменной плавки и эффективности этой технологии на доменных печах Украины в сравнении с передовой мировой практикой [1–8] (рис. 3).

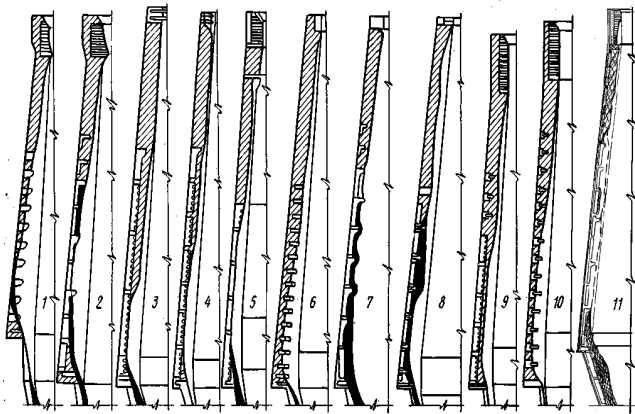
Результаты выполненных исследований показали, что причинами уменьшения ресурса работы шахты доменных печей Украины при освоении технологии доменной плавки с ПУТ являются:

- локальное увеличение и нестабильное «пульсирование» тепловых нагрузок в районе заплечиков, распара и низа шахты;
- увеличение производства и степени прямого восстановления железа;
- увеличение количества первичного шлака и содержание в нем монооксида железа, уменьшение основности шлака;
- неэффективная конструкция холодильников;
- неэффективность имеющихся средств управления радиальным распределением газового потока.

Современная конструкция доменной печи, предназначенная для работы с ПУТ, способна обеспечить в среднем 15-летнюю кампанию и максимальное количество вдувания ПУТ за счет более «бочкообразного» профиля печи с меньшим углом наклона заплечиков, большим диаметром распара и колошника, меньшей высотой шахты и углом ее наклона, в



**Рис. 1.** Сопоставление полезного объема печей, лучших показателей работы с ПУТ доменных печей ПАО «Запорожсталь», ЧАО «ММК им. Ильича» и ПАО «АМК» с зарубежной практикой



**Рис. 2.** Конструкции и профили выдутых доменных печей, работавших с природным газом: 1, 2 – ММК, 1370 м<sup>3</sup>; 3, 4 – ЗСМК, 2000 и 3000 м<sup>3</sup>; 5 – КМК, 1462 м<sup>3</sup>; 6 – КарМК, 1719 м<sup>3</sup>; 7 – НЛМК, 2000 м<sup>3</sup>; 8 – ЧерМК, 2700 м<sup>3</sup>; 9, 10 – ДМК им. Дзержинского, 1386 м<sup>3</sup>; 11 – АМКР, 5000 м<sup>3</sup>, 2003 год

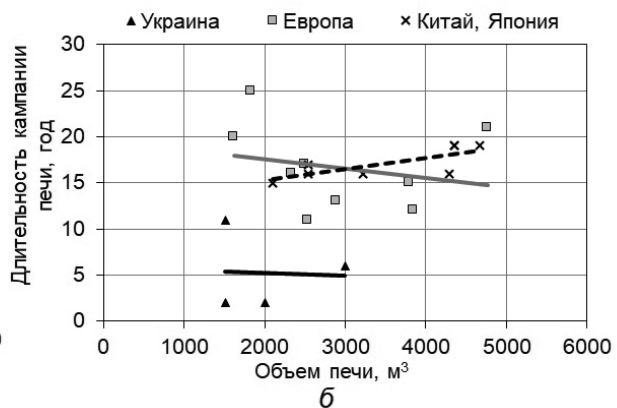
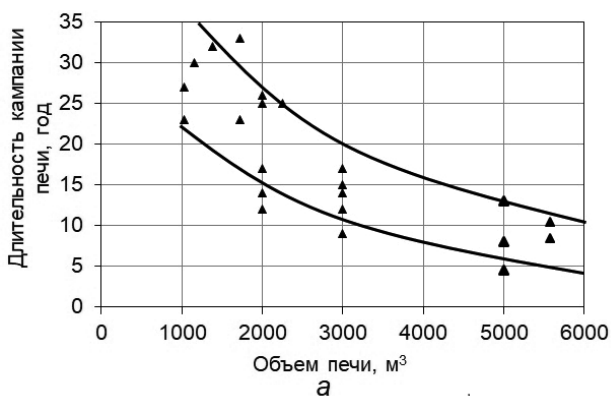
сравнении с конструкцией печи сопоставимого объема для работы с природным газом (рис. 2–4).

Основными отличительными особенностями современных конструкций зарубежных доменных печей, работающих с пылеугольным топливом (рис. 4), в сравнении с доменными печами Украины, являются:

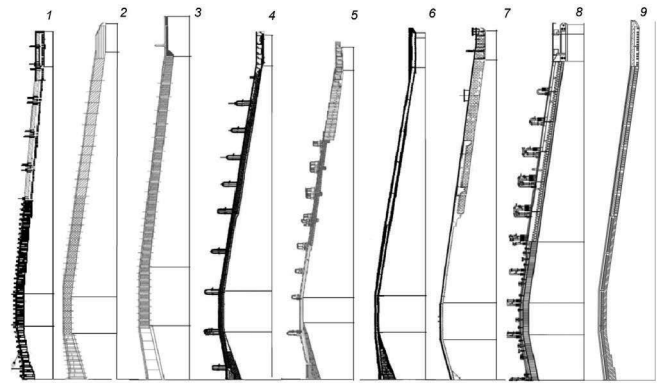
- конструкция печи с самонесущим кожухом;
- вертикальные (предварительно футерованные) или горизонтальные медные холодильники в заплечиках и до середины шахты;
- с середины шахты и до колошника печь охлаждается вертикальными, предварительно футерованными чугунными холодильными плитами, преимущественно без «L»-образных выступов, от которых отказываются при строительстве новых печей;
- распар формируют вертикальной холодильной плитой;
- заплечики и шахта охлаждаются «холодной» химически очищенной водой.

В качестве направлений увеличения ресурса работы шахты доменных печей Украины и России при освоении технологии доменной плавки с ПУТ предлагается:

1. Изменение конструкции и профиля печи: увеличение диаметра распара, уменьшение угла наклона



**Рис. 3.** Длительность кампании доменных печей в зависимости от объема: а – на доменных печах Украины и России с природным газом; б – на доменных печах с ПУТ



**Рис. 4.** Конструкция профилей зарубежных доменных печей, работающих с ПУТ (1 – Ijmuiden, № 7; 2, 3 – Salzgitter, A, C; 4, 5 – Rogesa Dillingen, № 4, 5; 6 – Lulea, № 3; 7 – Linz, A; 8 – Китай) и ДП № 3 ЧАО «МК «Азовсталь», разработанной по ТЛЗ ИЧМ (9)

заплечиков, изменение высоты заплечиков, распара и шахты.

2. Применение химически очищенной воды в системе охлаждения.

3. Применение медных, стальных и других предварительно футерованных холодильников с высокой теплоотводящей способностью в заплечиках и шахте.

4. При капитальных ремонтах 1-го и расширенного 2-го разряда преимущественно использовать современную штучную футеровку в шахте, а не огнеупорный бетон.

5. Установка автоматизированных систем контроля тепловой работы и разгара футеровки.

6. Формирование осевого распределения газового потока.

7. Использование углей для ПУТ с минимальным содержанием золы.

8. Выбор рационального дутьевого, газодинамического, шлакового режима загрузки печи.

9. Модернизация и совершенствование средств контроля и управления радиальным распределением, восстановительной и тепловой работой газового потока и сжигания ПУТ.

**Автоматизированный контроль тепловой работы и разгара шахты и металлоприемника.**

Тепловые нагрузки на систему охлаждения печи являются интегральным параметром, который зависит

от конструкции печи и технологии ведения доменной плавки [1–12].

Особенно актуальным вопрос о необходимости реализации на доменных печах Украины средств автоматизированного контроля тепловой работы периферийной зоны доменной печи стал при освоении технологии доменной плавки с ПУТ и поиске рациональных решений по увеличению ресурса работы печей [1–9].

На сегодняшний день в Украине системы автоматизированного контроля тепловой работы и разгара шахты и горна, тепловых потерь в системе охлаждения печи и расхода кокса на их компенсацию реализованы на ДП № 2, 3 и 4 ПАО «Запорожсталь», ча-

стично реализованы на ДП № 5 ПАО «Запорожсталь» и № 9 ПАО «АМКР» (отсутствует система контроля разгара шахты). В основе этих автоматизированных систем лежат разработки ИЧМ НАН Украины (рис. 5).

Информация, полученная от системы автоматизированного контроля, позволяет осуществлять диагностику эффективности технологии, определять «слабые» места в конструкции и системе охлаждения шахты, и научно обоснованно выбирать способ их устранения технологическими мероприятиями и при проведении восстановительных и капитальных ремонтов печи.

Экономический эффект достигается за счет своевременного определения и уменьшения рисков

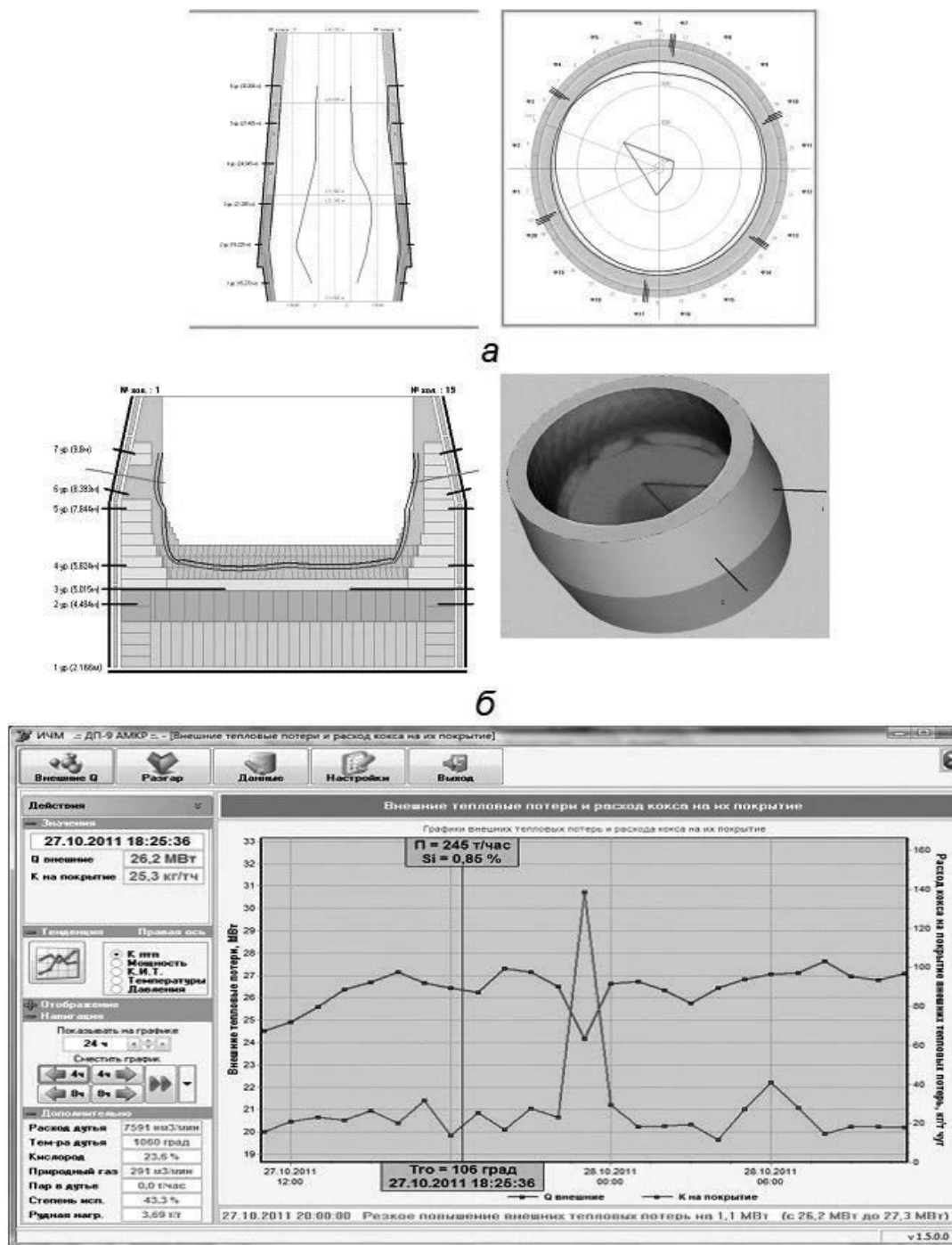


Рис. 5. Видеокдры систем автоматизированного контроля разгара шахты (а), металлоприемника (б), тепловых потерь и расхода кокса на их покрытие (в)

увеличения тепловых потерь в системе охлаждения, преждевременного износа системы водяного охлаждения, прогара холодильников шахты, попадания воды в печь, простоев и тихого хода печи и, как следствие, возрастание рисков, которые связаны с увеличением расхода кокса, уменьшением производства и уменьшением длительности кампании печи.

**Технология загрузки доменных печей при применении ПУТ и средства контроля распределения газов и шихты.** Основными факторами, осложняющими условия плавки с ПУТ, на которые можно эффективно влиять распределением шихтовых материалов на колошнике, являются [1–2]:

- значительное увеличение средней рудной нагрузки и, как следствие, уменьшение газопроницаемости столба шихты;

- уменьшение высоты слоев кокса, вплоть до их локального отсутствия между железорудными материалами, и высокая неравномерность распределения объемов;

- уменьшение гибкости управления распределением материалов на колошнике;

- сложности в организации стабильного осевого газового потока.

Для улучшения показателей работы доменной печи с применением ПУТ необходимо реализовывать современные решения в технологии загрузки с применением ПУТ:

- оснащение доменной печи современным бесконусным загрузочным устройством (БЗУ) с функциональной системой его управления;

- формирование рациональной структуры слоев шихты – высота слоя кокса на колошнике около 0,5 м;

- загрузка осевого кокса [7, 12] (рис. 6);

- выбор параметров режима загрузки на основе



**Рис. 6.** Схема формирования рационального распределения газового потока при работе с применением ПУТ [12]

информации современных средств контроля распределения шихты и газового потока.

В настоящее время на многих доменных печах Украины и России не уделяется должного внимания обеспечению рациональной высоты слоев шихтовых материалов в доменной печи. Зарубежные специалисты ориентируются на высоту слоев кокса в распаре: в Нидерландах – не менее 0,14 м, в Японии – не менее 0,18 м [13]. Отечественный опыт ориентирован на высоту слоев кокса на колошнике. По исследованиям ИЧМ НАН Украины, рациональные значения средней высоты находятся в диапазоне 0,40–0,60 м.

Для рационального управления и выбора режима загрузки, особенно с применением БЗУ, доменные

**Преимущества и недостатки наиболее распространенных современных средств контроля распределения шихты и газового потока**

Средства контроля распределения шихты и газового потока	Преимущества	Недостатки
Машины отбора радиального газа с масс-спектрометрическими газоанализаторами	Возможность контроля химического состава газа по радиусу печи, точность измерений, надежность и быстродействие	Необходимость качественного технического обслуживания газоанализатора
Радиолокационные уровнемеры	Возможность осуществления непрерывного контроля уровня засыпи, точность показаний, простота монтажа	Чувствительность к запыленности
Инфракрасная камера	Возможность непрерывного визуального контроля характера газораспределения и технического состояния лоткового распределителя	Необходимость в постоянном охлаждении азотом, повышенные требования к качеству и периодичности обслуживания, низкая информативность в условиях загрузки пылевой шихты
Профилемер	Возможность контроля распределения порций шихтовых материалов на колошнике работающей доменной печи	Погрешность измерения в условиях высокой запыленности, сложность конструкции, необходимость качественного и своевременного обслуживания
Термозонды (термобалки)	Возможность осуществления непрерывного контроля газораспределения на колошнике	Влияние на поток загружаемых материалов, отсутствие возможности эффективного контроля при загрузке горячего агломерата, зависимость показаний от уровня засыпи

печи необходимо оснащать современными средствами контроля распределения шихты и газового потока (таблица) [14–16].

## Выводы

В условиях применения традиционных технических, технологических и организационных решений в доменном производстве Украины переход на технологию с ПУТ оказался проблематичным и недостаточно эффективным в сравнении с зарубежной практикой.

Освоение технологии доменной плавки с применением ПУТ на металлургических предприятиях Украины и России требует комплексного рассмотрения и решения следующих задач:

– улучшение шихтовых условий;

– модернизация конструкции и системы охлаждения, изменение профиля печей;

– применение современных бесконусных загрузочных устройств;

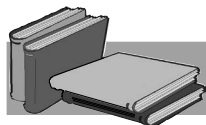
– увеличение мощности воздуходувных машин;

– совершенствование технологии доменной плавки;

– оптимизация требований к качеству чугуна за счет совершенствования маршрута производства стали «доменная печь – кислородный конвертер»;

– внедрение систем автоматизированного контроля разгара футеровки и образования гарнисажа, тепловых нагрузок, тепловых потерь в системе охлаждения и расхода кокса на их покрытие;

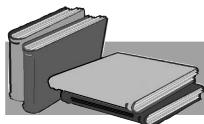
– оснащение доменной печи современными надежными средствами контроля распределения шихты и газового потока.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Большаков В.И., Чайка А.Л., Лебедь В.В., Сохацкий А.А., Цюпа К.С., Корнилов Б.В.* Системная надежность доменного производства с использованием пылеугольного топлива // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – № 7. – С. 22–30.
2. *Большаков В.И., Чайка А.Л., Лебедь В.В., Сохацкий А.А.* Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива в доменном производстве Украины // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – № 2. – С. 6–11.
3. *Большаков В.И., Чайка А.Л., Лебедь В.В.* и др. Освоение работы доменной печи полезным объемом 3000 м<sup>3</sup> с применением пылеугольного топлива // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 4. – С. 36–40.
4. *Большаков В.И., Бородулин А.В., Чайка А.Л.* и др. Тепловая работа и перспективные конструкции шахты и металлоприемника доменной печи при применении пылеугольного топлива // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – № 3. – С. 106–110.
5. *Чайка А.Л., Лебедь В.В., Жеребецкий А.А., Цюпа К.С., Гоман С.В., Фоменко А.П.* Влияние режима работы доменной печи № 4 ОАО «Запорожсталь» с применением пылеугольного топлива на разгар футеровки и тепловую работу периферийной зоны // *Научно-производственный журнал «Экология и промышленность»*. – 2015. – № 4 – С. 53–61.
6. *Большаков В.И., Чайка А.Л., Лебедь В.В.* и др. Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива на доменных печах Украины // *Металл и литье Украины*. – 2013. – № 10. – С. 5–10.
7. *Большаков В.И., Лебедь В.В., Жеребецкий А.А., Чайка А.Л.* Исследование влияния параметров отдушины на работу доменной печи с применением пылеугольного топлива // *Научно-производственный журнал «Экология и промышленность»*. – 2016. – № 2. – С. 54–61.
8. *Большаков В.И., Чайка А.Л., Лебедь В.В., Сохацкий А.А., Жеребецкий А.А., Диментьев В.Н.* Влияние технологии применения пылеугольного топлива на показатели тепловой работы доменной печи, полезным объемом 3000 м<sup>3</sup> // *Сборник науч. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»*. – 2014. – Вып. 29. – С. 31–40.
9. *Чайка А.Л., Лебедь В.В., Сохацкий А.А., Цюпа К.С., Гоман С.В., Набока В.И., Фоменко А.П.* Влияния футеровки и системы охлаждения шахты на расход кокса и ресурс работы доменных печей ПАО «Запорожсталь» при применении пылеугольного топлива // *«Черметинформация»: Бюллетень «Черная металлургия»*. – 2017. – № 1. – С. 25–34
10. *Большаков В.И., Чайка А.Л., Сохацкий А.А., Москалина А.А.* Эксергетический анализ энергоэффективности применения пылеугольного топлива в доменном производстве // *«Экология и промышленность»*. – 2014. – № 2. – С. 87–94.
11. *Шатлов В.А., Кутнер С.М., Солодков В.И.* и др. Пути повышения стойкости шахт доменных печей (по материалам межзаводской школы). – М.: Экспресс-информация. Ин-т «Черметинформация», 1981. – 36 с.
12. *Ёшиюки Матсу, Коичиро Шибата, Ясуо Ёшида, Рейю Оно.* Принцип эксплуатации доменной печи, управляя технологией и обеспечивая центральное газораспределение с помощью осевого кокса // *Kobelco Technology Review*. – Дек. 2006. – № 26. – С. 12–20.
13. *Геердес М., Ченьо Р., Курунов И., Лингарди О., Риккетс Д.* Современный доменный процесс. Введение / 3-е издание под ред. И.Ф. Курунова. – М.: Металлургиздат, 2016. – 280 с.
14. *Большаков В.И., Лебедь В.В.* Современное состояние контроля газораспределения в доменной печи // *Сборник науч. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»*. – 2009. – Вып. 19. – С. 67–80.
15. *Большаков В.И., Лебедь В.В., Жеребецкий А.А.* Использование современных средств контроля для управления радиальным распределением шихты в доменной печи // *В сб. научн. тр. ИЧМ «ФППЧМ»*. – 2010. – Вып. 21. – С. 53–66.
16. *Большаков В.И., Лебедь В.В., Жеребецкий А.А.* Особенности управления загрузкой шихты на современных доменных печах // *Сборник науч. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»*. – 2012. – Вып. 25. – С. 13–24.

Поступила 21.11.2018



## REFERENCES

1. Bol'shakov, V.I., Chaika, A.L., Lebed', V.V., Sokhatskyi, A.A., Tsiupa, K.S., Kornilov, B.V. (2015). System reliability of blast furnace production using pulverized coal. *Metallurgicheskaja i gornorudnaia promyshlennost'*, no. 7, pp. 22–30 [in Russian].
2. Bol'shakov, V.I., Chaika, A.L., Lebed', V.V., Sokhatskyi, A.A. (2015). Experience and prospects for the use of pulverized coal in the blast furnace production of Ukraine. *Metallurgicheskaja i gornorudnaia promyshlennost'*, no. 2, pp. 6–11 [in Russian].
3. Bol'shakov, V.I., Chaika, A.L., Lebed', V.V. et al. (2012). The development of blast furnace useful volume of 3000 m<sup>3</sup> using pulverized coal. *Metallurgicheskaja i gornorudnaia promyshlennost'*, no. 4, pp. 36–40 [in Russian].
4. Bol'shakov, V.I., Borodulin, A.V., Chaika, A.L. et al. (2014). Thermal performance and promising designs shaft and hearth of a blast furnace pulverized coal in the application. *Metallurgicheskaja i gornorudnaia promyshlennost'*, no. 3, pp. 106–110 [in Russian].
5. Chaika, A.L., Lebed', V.V., Zherebetskyi, A.A., Tsiupa, K.S., Goman, S.V., Fomenko, A.P. (2015). Effect mode of blast furnace no. 4 PJSC "Zaporozhstal" using pulverized coal at the height of the lining and the thermal performance of the peripheral zone. *Nauchno-proizvodstvennyi zhurnal "Ekologija i promyshlennost'"*, no. 4, pp. 53–61 [in Russian].
6. Bol'shakov, V.I., Chaika, A.L., Lebed', V.V. et al. (2013). Experience and perspectives of coal injection in the blast furnaces of Ukraine. *Metall i lit'e Ukrainy*, no. 10, pp. 5–10 [in Russian].
7. Bol'shakov, V.I., Lebed', V.V., Zherebetskyi, A.A., Chaika, A.L. (2016). Study of the effect of vent parameters on the operation of a blast furnace using pulverized coal. *Nauchno-proizvodstvennyi zhurnal "Ekologija i promyshlennost'"*, no. 2, pp. 54–61 [in Russian].
8. Bol'shakov, V.I., Chaika, A.L., Lebed', V.V., Sokhatskyi, A.A., Zherebetskyi, A.A., Diment'ev, V.N. (2014). The influence of pulverized coal technology on the thermal performance of a blast furnace with a useful volume of 3000 m<sup>3</sup>. *Sbornik nauch. tr. IChM "Fundamental'nye i prikladnye problemy cherno metallurgii"*, Iss. 29, pp. 31–40 [in Russian].
9. Chaika, A.L., Lebed', V.V., Sokhatskyi, A.A., Tsiupa, K.S., Goman, S.V., Naboka, V.I., Fomenko, A.P. (2017). Effects of the lining and the shaft cooling system resource consumption of coke and blast furnace operation PJSC "Zaporozhstal" when using pulverized coal. *"Chermetinformatsiia": Biulleten "Chernaia metallurgija"*, no. 1, pp. 25–34 [in Russian].
10. Bol'shakov, V.I., Chaika, A.L., Sokhatskyi, A.A., Moskalina, A.A. (2014). Exergy analysis of energy efficiency of pulverized coal in blast furnace production. *"Ekologija i promyshlennost'"*, no. 2, pp. 87–94 [in Russian].
11. Shatlov, V.A., Kutner, S.M., Solodkov, V.I. et al. (1981). Ways to improve the durability of blast furnace mines (based on materials of the inter-factory school. Moscow: Ekspres-informatsiia. In-t "Chermetinformatsiia", 36 p. [in Russian].
12. Yoshiyuki Matsu, Koichiro Shibata, Yasuo Yoshida, Reiji Ono (2006). The principle of blast furnace operational technology and centralized gas flow by center coke charging. *Kobelco Technology Review*, no. 26, Dec. 2006. pp. 12–20 [in English].
13. Geerdes, M., Chen'o, R., Kurunov, I., Lingardi, O., Rikkets, D. (2016). Modern blast furnace process. Introduction. 3rd edition ed. by I.F. Kurunov. Moscow: Metallurgizdat, 280 p. [in Russian].
14. Bol'shakov, V.I., Lebed', V.V. (2009). The current state of the control valve in the blast furnace. *Sbornik nauch. tr. IChM "Fundamental'nye i prikladnye problemy cherno metallurgii"*, Iss. 19, pp. 67–80 [in Russian].
15. Bol'shakov, V.I., Lebed', V.V., Zherebetskyi, A.A. (2010). Using modern controls to control the radial distribution of the charge in the blast furnace. *Sbornik nauch. tr. IChM "Fundamental'nye i prikladnye problemy cherno metallurgii"*, Iss. 21, pp. 53–66 [in Russian].
16. Bol'shakov, V.I., Lebed', V.V., Zherebetskyi, A.A. (2012). Features batch loading control in modern blast furnaces. *Sbornik nauch. tr. IChM "Fundamental'nye i prikladnye problemy cherno metallurgii"*, Iss. 25, pp.13–24 [in Russian].

Received 21.11.2018

### Анотація

**О.Л. Чайка**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., зав. лаб.,  
e-mail: chaykadp@gmail.com; **В.В. Лебідь**, наук. співр.,  
e-mail: vitalii.lebid@gmail.com; **Б.В. Корнілов**, мол. наук. співр.,  
e-mail: balesan2209@gmail.com; **О.А. Сохацький**, канд. техн. наук, ст.  
наук. співр., e-mail: sokhatskyaa@ukr.net; **К.С. Цюпа**, мол. наук. співр.,  
e-mail: t.kirill.90@gmail.com; **В.Ю. Шостак**, мол. наук. співр.,  
e-mail: shostak.vu@gmail.com

*Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, м. Дніпро,  
Україна*

### Досвід і перспективи освоєння технології доменної плавки із застосуванням пиловугільного палива в Україні

*У роботі наведено результати наявного досвіду та перспективи покращення показників доменної плавки при переході печей від технології роботи з природним газом до технології із застосуванням пиловугільного палива.*

### Ключові слова

*Доменна піч, пиловугільне паливо, показники роботи печі, профіль, система автоматизованого контролю, розпал футерівки, теплові втрати, завантаження.*



## Summary

**A.L. Chaika**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Head of Laboratory, e-mail: chaykadp@gmail.com; **V.V. Lebid**, Researcher, e-mail: vitalii.lebid@gmail.com; **B.V. Kornilov**, Junior Researcher, e-mail: balesan2209@gmail.com; **A.A. Sokhatskyi**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, e-mail: sokhatskyaa@ukr.net; **K.S. Tsiupa**, Junior Researcher, e-mail: t.kirill.90@gmail.com; **V.Yu. Shostak**, Junior Researcher, e-mail: shostak.vu@gmail.com

*Z.I. Nekrasov Institute of Ferrous Metallurgy of the NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine*

## Experience and prospects of mastering the blast furnace technology using pulverized coal in Ukraine

*The paper presents the results of existing experience and prospects for improving the performance of blast furnace smelting when switching furnaces from the technology of working with natural gas to the technology using pulverized coal.*

## Keywords

*Blast furnace, pulverized coal, furnace performance, furnace lines, automated monitoring system, lining height, heat loss, charging.*