



А. Л. Чайка /к. т. н./, В. В. Лебедь,  
А. А. Сохацкий /к. т. н./, К. С. Цюпа,  
Б. В. Корнилов, В. Ю. Шостак, Г. В. Панчоха,  
А. А. Москалина  
С. В. Гоман, А. П. Фоменко  
Д. В. Пинчук

Институт черной металлургии  
им. З. И. Некрасова Национальной академии  
наук Украины (ИЧМ НАНУ), г. Днепро, Украина  
e-mail: office.isi@nas.gov.ua  
ПАО «Запорожсталь», г. Запорожье, Украина  
ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (АМКР),  
г. Кривой Рог, Украина

## Опыт и перспективы комплексного применения систем автоматизированного контроля разгара футеровки, тепловых потерь и теплоэнергетических параметров на доменных печах

A. L. Chayka /Cand. Sci. (Tech.)/, V. V. Lebed,  
A. A. Sokhatsky /Cand. Sci. (Tech.)/,  
K. S. Tsyupa, B. V. Kornilov,  
V. Y. Shostak, G. V. Panchoha, A. A. Moskalina  
S. V. Goman, A. P. Fomenko  
D. V. Pinchuk

Z. I. Nekrasov Iron and Steel Institute of National  
Academy of Sciences of Ukraine (ISI NASU),  
Dnipro, Ukraine  
e-mail: office.isi@nas.gov.ua  
PJSC «Zaporizhstal», Zaporozhye, Ukraine  
PJSC «ArcelorMittal Kryvyi Rih», Krivoy Rog,  
Ukraine

## Experience and prospects of complex use application of the automated control systems of the lining height, the heat loss and heat energy parameters on blast furnaces

**Цель.** Увеличение ресурса работы доменных печей, экономия кокса, выбор научно обоснованных рациональных решений по ведению технологии доменной плавки на основе познания и результатов автоматизированного контроля показателей тепловой работы периферийной зоны доменной печи (ДП).

**Методика.** Использованы принципы системного анализа и решение прямой и обратной задачи контроля тепловой работы ДП. Информация, полученная в экспериментальных и аналитических исследованиях, о распределении температур и тепловых потоков для создания систем автоматизированного контроля (САК) разгара футеровки горна и шахты, тепловых потерь и обнаружения «расстройств» в тепловой и газодинамической работе печи.

**Результаты.** Разработаны и реализованы на доменных печах Украины САК тепловых потерь, разгара футеровки и показателей тепловой работы. Установлены закономерности изменения тепловых потерь, разрушения футеровки, образования гарнисажа, отклонений в тепловом режиме доменной печи в зависимости от конструкции ее системы охлаждения, свойств огнеупоров футеровки и технологии ведения доменной плавки.

**Научная новизна.** Разработаны методы контроля теплоэнергетических параметров печи и ее зон, температурно-теплового состояния печи и ее периферийной зоны, которые позволяют оценивать эффективность выбранного тепло-газодинамического режима, контролировать износ профиля, принимать научно-обоснованные решения, в режиме советчика, по изменению тепло-газодинамического режима работы печи с целью уменьшения удельных затрат кокса на покрытие внешних тепловых потерь и предупреждения расстройств тепло-газодинамического режима печи.

**Практическая значимость.** Информация, полученная от систем автоматизированного контроля, позволяет определять наиболее уязвимые места в конструкции печи и системе охлаждения, расстройств в тепловой работе печи и научно-обосновано выбирать способ их устранения пути их решения при проведении капитальных ремонтов первого и второго разрядов и выбора рационального режима ведения доменной плавки. Экономический эффект достигается за счет своевременного определения и уменьшения рисков увеличения тепловых потерь в системе охлаждения, преждевременного износа системы водяного охлаждения, прогара холодильников шахты, попадания воды в печь, простоя и тихого хода печи и, как следствие, уменьшения рисков, которые связаны с увеличением расхода кокса, уменьшением производства и уменьшением длительности кампании печи. (Ил. 6. Библиогр.: 8 назв.)

**Ключевые слова:** доменная печь, система автоматизированного контроля (САК), футеровка, гарнисаж, тепловые потери, система охлаждения, периферийная зона, расход кокса, ресурс.

**Введение.** Доменные печи относятся к наиболее энергоемким и небезопасным агрегатам, общая тепловая мощность которых достигает 1000 МВт и более, превышая мощность энергоблоков атомных электростанций [1]. Поэтому вопросы энергосбережения и безопасности эксплуатации являются ключевыми в доменном производстве [2].

**Состояние вопроса.** Рабочее пространство доменной печи ограждено от окружающего пространства герметичным кожухом, который, в свою очередь, предохраняется холодильниками, огнеупорной кладкой и образовавшимся в процессе плавки гарнисажем. На систему охлаждения доменной печи приходится 90–95 % внешних тепловых потерь [1].

Относительно небольшая величина тепловых потерь с охлаждающей водой порядка ~2–10 % от общей тепловой мощности печи не снижают их важнейшей роли в функционировании этих агрегатов. Система охлаждения оказывает влияние на теплообмен в пристеночной зоне столба шихты на различную глубину, порядка 200–700 мм, что составляет 5–20 % от площади поперечного сечения печи [1; 3].

Комплексному изучению процессов тепло-массообмена на периферии печи, взаимодействию газа, футеровки, системы охлаждения и кожуха в отечественной науке уделялось недостаточно внимания в работах научных школ М. А. Павлова, А. Н. Похвиснева, А. Н. Рамма, И. А. Соколова и других. Это позволило Г. Г. Орешкину отметить, что отсутствие данных об охлаждении профилей доменных печей в трудах М. А. Павлова и других авторов может быть объяснено тем, что доменные техники недооценивали влияние системы охлаждения печи на размеры работающего профиля. Позднее Б. И. Китаев отмечал: «Эта статья теплового баланса доменной печи (потери теплоты с охлаждающей водой) очень важна для контроля теплового состояния доменной печи и для управления ее ходом. Обычно отдельно определяют потери теплоты на охлаждение шахты, заплечиков, фурм, горна и по этим данным судят об их тепловом состоянии. Они несут информацию даже о распределении температур по радиусу печи» [1].

Большинство теоретических разработок по увеличению надежности и долговечности ограждения доменной печи, существующие на сегодняшний день, рассматривают те или иные важнейшие вопросы этой проблемы практически в изоляции, без должной увязки факторов,

влияющих на надежность работы ограждения печи, и факторов, зависящих от организации производства и уровня технологии доменной плавки.

Практические начала автоматизированного контроля работы системы охлаждения и их приложения в отечественном доменном производстве, положены в 60-х годах прошлого века работой В. Я. Кожуха [3].

Впервые в отечественном доменном производстве информацию о тепловых потерях и их взаимосвязи с конструкцией печи, ее техническим состоянием, технологией и технико-экономическими показателями доменной плавки систематизировал А. В. Бородулин [2].

На протяжении более пятидесяти лет под руководством А. В. Бородулина специалистами ИЧМ НАНУ выполнялись исследования тепловых потерь в системах охлаждения доменных печей объемом 180–5000 м<sup>3</sup>, на 14 металлургических предприятиях Украины и России, по результатам которых разработаны научные основы, методология, модели, аналитические и экспериментальные методы контроля, прогноза показателей тепловой работы печи и ее периферийной зоны [1; 4]. Разработано и обосновано новое научное направление – системная надежность доменного производства, которое связано с поиском оптимальных решений, направленных на обеспечение требуемого производства чугуна заданного качества при минимальных затратах энергоресурсов, безопасной и длительной работе печи [1; 5].

С 2006 г. в доменном производстве Украины возросла актуальность вопроса экономии природного газа и его расход был сведен к минимуму – до ~30 м<sup>3</sup>/т чугуна, а к 2017 г. на большинстве доменных печей его полностью заменили на пылеугольного топлива (ПУТ). Это привело к тому, что традиционная конструкция доменных печей оказалась недостаточно надежной в условиях отсутствия природного газа и вдувании ПУТ. Остро стал вопрос о необходимости автоматизированного контроля тепловой работы, разгара и уменьшения расхода кокса на покрытие тепловых потерь в связи с неудовлетворительным техническим состоянием доменных печей.

**Основная часть.** На сегодняшний день ИЧМ НАНУ занимает лидирующие позиции в Украине по реализации и внедрению систем автоматизированного контроля тепловых потерь, разгара футеровки и показателей тепловой работы на доменных печах. В основу разработок поло-

## ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

жен накопленный многолетний опыт и оригинальные модели, которые создавались на протяжении более пятидесяти лет [1; 3; 5-7].

Первая автоматизированная информационная система (АИС) «Контроль тепловой работы печи» в составе автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) была внедрена специалистами ИЧМ НАНУ на ДП № 9 ПАО «АМКР» в 2011 г. [5; 7]. Основными направлениями применения подсистемы «Внешние тепловые потери и расход кокса на их покрытие» являются:

1. Учет величины внешних тепловых потерь и расхода кокса на их покрытие в технико-экономических расчетах.

2. Использование информации, поступающей из подсистемы, для поиска рационального и оценки эффективности выбранного тепло-газодинамического режима при изменении параметров и состава дутья, давления в колошниковом пространстве, режима загрузки печи.

3. Использование информации о внешних тепловых потерях для выявления «расстройств» в работе печи.

В ходе опытно-промышленной апробации подсистемы в нестабильных условиях работы ДП № 9 ПАО «АМКР» в 2011 г. и на основании выполненных аналитических исследований выявлены следующие факторы, которые могут указывать на «расстройства» в работе печи (рис. 1):

- резкое увеличение или уменьшение внешних тепловых потерь;
- скачкообразное изменение расхода кокса на покрытие тепловых потерь;
- одновременная тенденция увеличения (уменьшения величины внешних тепловых потерь и расхода кокса на их покрытие).

Для оценки взаимосвязи разогрева (похолодания) печи с изменением тепло-газодинамического режима ведения доменной плавки используются теплоэнергетические параметры, расчет которых встроен в подсистеме [1; 3; 5; 7]:

– увеличение (уменьшение) тепловой мощности печи соответствует увеличению (уменьшению) количества кислорода, поступающего в доменную печь и, как следствие, при нормальном режиме работы печи сопровождается увеличением (уменьшением) производства;

– динамика изменения величины КИТ (коэффициент использования теплоты топлива) отражает стабильность распределения и использования теплоты топлива в доменной печи;

– динамика изменения давления и температуры по высоте печи позволяет оценить причинно-следственные связи перераспределения теплоты по высоте печи при увеличении (уменьшении) величины внешних тепловых потерь.

При выходе на стабильный режим работы доменной печи подсистема «Внешние тепловые потери и расход кокса на их покрытие» может быть использована в следующих направлениях:

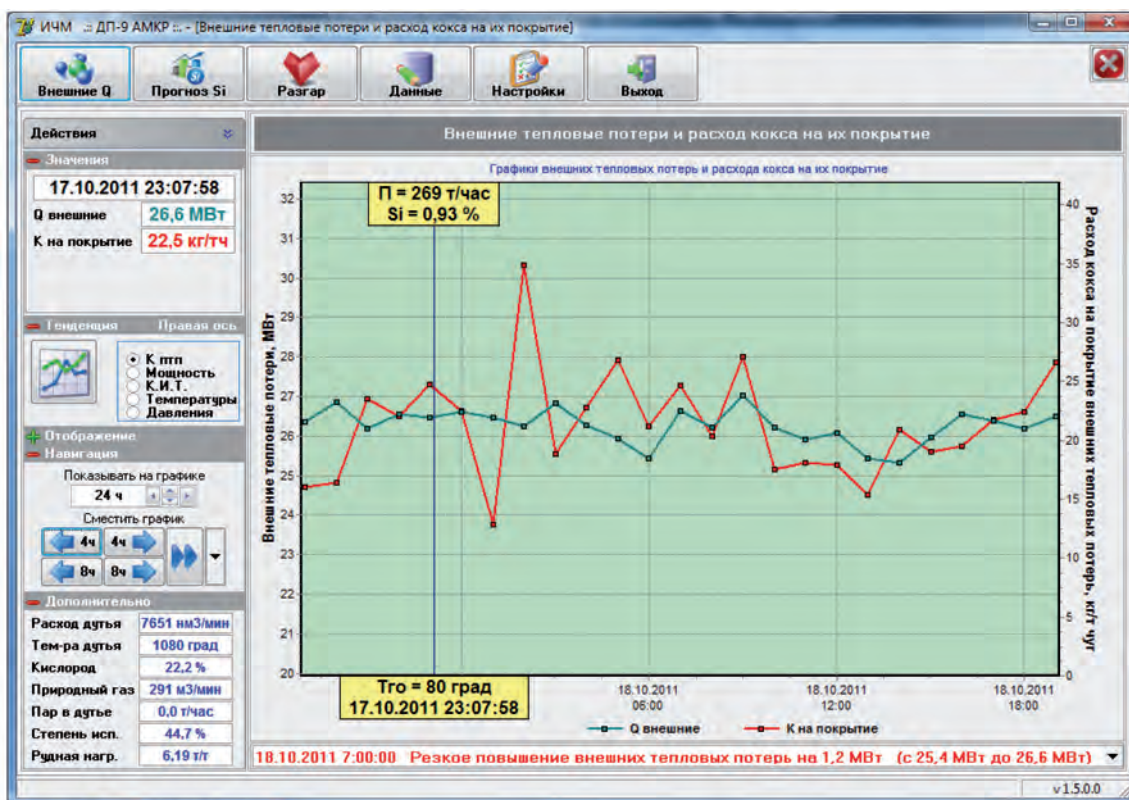


Рис. 1. Пример видеокadra САК «Внешние тепловые потери и расхода кокса на их покрытие» с предупредительным сообщением о резком изменении внешних тепловых потерь

- определение для заданного производства рационального диапазона величины внешних тепловых потерь;

- использование информации о длительной тенденции изменения величины внешних тепловых потерь как сигнала об износе шахты и заплечиков (образования излишнего гарнисажа);

- использование информации о резком изменении величины внешних тепловых потерь как сигнала о нарушении в тепловой и газодинамической работе печи: сход гарнисажа, разогрев (похолодание) печи, перераспределение газового потока к периферии (оси), «канальный» ход печи;

- использование информации о величине внешних тепловых потерь и расхода кокса на их покрытие для оценки эффективности существующего и поиска рационального технологического режима ведения доменной плавки.

В настоящее время САК «Тепловые потери» (рис. 2) находится на стадии разработки, внедрения и опытно-промышленных испытаний на ДП № 2-5 ПАО «Запорожсталь», ДП № 3 ЧАО «МК «Азовсталь» и ДП № 5 ПАО «ЕМЗ».

В 2014 г. первая система автоматизированного контроля тепловой работы и разгара футеровки шахты (САК «Шахта») была успешно внедрена на ПАО «Запорожсталь» на ДП № 4, в 2015 г. – на ДП № 2 (рис. 3). На стадии реализации САК «Шахта» находится на ДП № 3 ПАО «Запорожсталь», ДП № 3 ЧАО «МК «Азовсталь» и ДП № 5 ПАО «ЕМЗ».

Разработанные ИЧМ НАНУ и реализованные на ДП № 4 и 2 ПАО «Запорожсталь» системы непрерывного автоматизированного кон-

троля тепловой работы и разгара футеровки шахты (САК «Шахта») позволили проанализировать влияние конструкции ДП № 4 и 2 на разгар футеровки, тепловые потери и расход кокса на их покрытие, что, в свою очередь, позволило выбрать рациональные решения по совершенствованию футеровки, конструкции и системы охлаждения доменных печей для увеличения ресурса и экономичной работы с вдуванием в горн ПУГ.

Результаты сопоставления разгара футеровки, образования гарнисажа и тепловых потерь в системах охлаждения ДП № 4 и 2 ПАО «Запорожсталь» за первые три, пять и двадцать месяцев их эксплуатации от задувки после капитального ремонта показали, что комплексное сочетание качественной футеровки и медных холодильников выгодно отличает показатели тепловой работы шахты ДП № 2 без применения торкрет бетона от шахты ДП № 4 с применением торкрет бетона (рис. 4):

- скорость износа карбидкремниевое огнеупора ДП № 2 в сравнении с торкретбетоном при старой конструкции ДП № 4 меньше почти в 9 раз, а в сравнении с новой конструкцией – в 3,5 раза;

- при нанесении торкретбетона на предварительно футерованные медные холодильные плиты ДП № 4 скорость его износа за пять месяцев эксплуатации в 2,5 раза меньше в сравнении с нанесением его на чугунные холодильные плиты ДП № 4 старой конструкции;

- применение на ДП № 4 в 2016 г. медных холодильников, предварительно футерованных карбидкремниевым кирпичом, в сравнении с

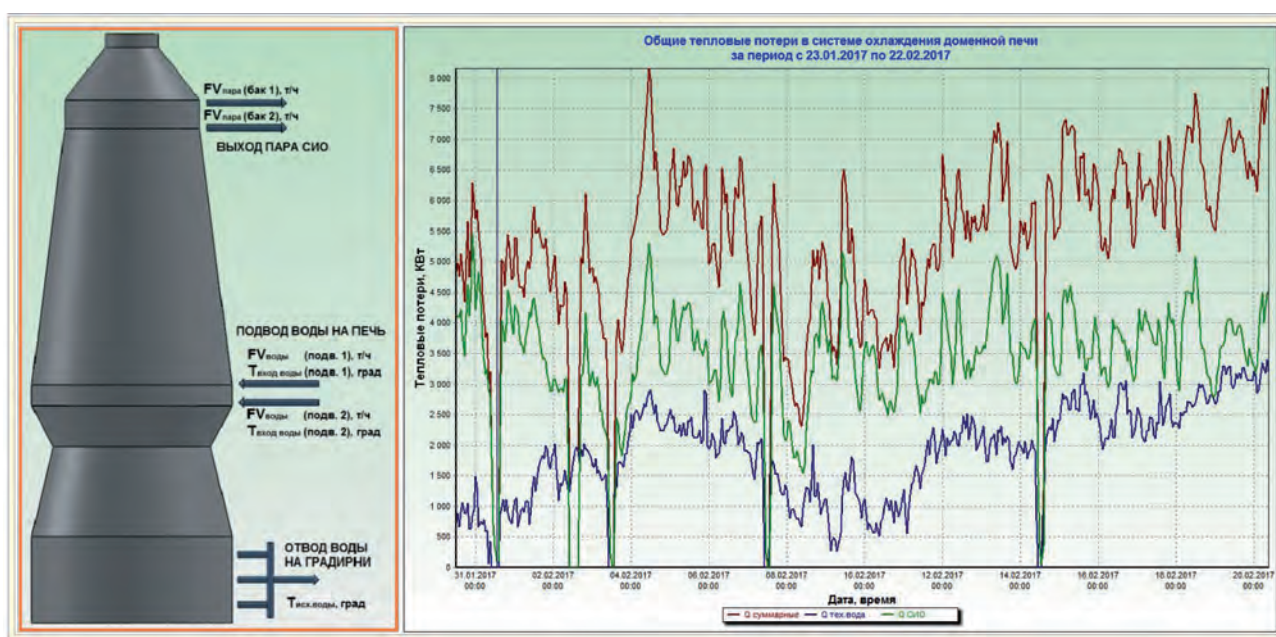


Рис. 2. Видеоквдр САК «Тепловые потери»

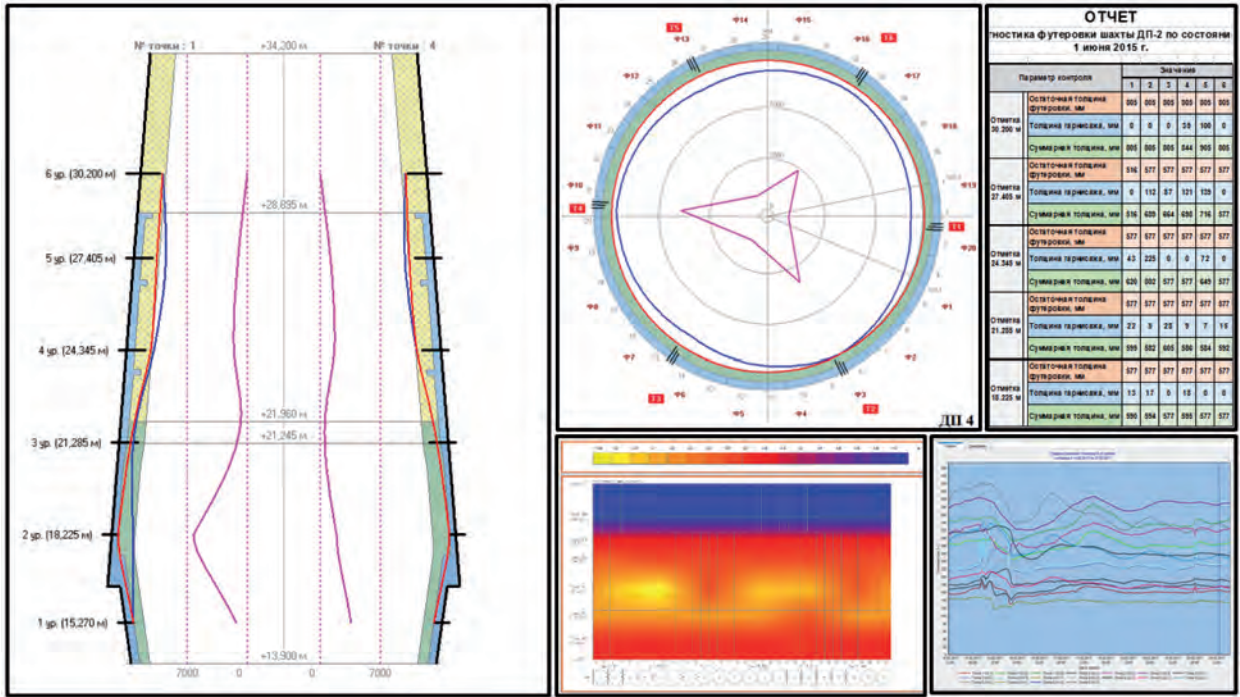


Рис. 3. Видеокдры САК «Шахта», установленной на ДП № 2 и 4 ПАО «Запорожсталь»

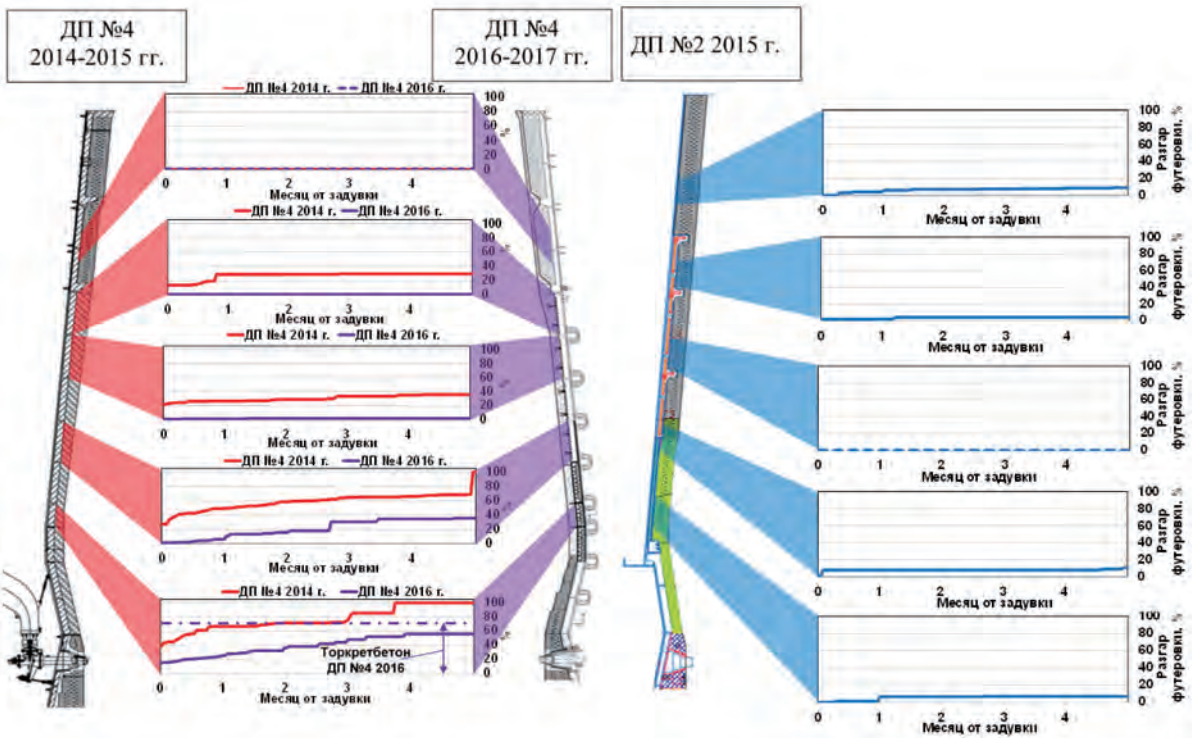


Рис. 4. Сопоставление износа футеровки ДП № 2 и 4 ПАО «Запорожсталь» за первые 5 месяцев их эксплуатации от задувки после капитальных ремонтов

ДП № 2, позволяет исключить риски обрушения кладки из карбидкремниевого кирпича при разгаре футеровки заплечиков и распара.

При проведении статистического анализа среднемесячных показателей работы ДП № 2 в период с февраля по декабрь 2016 г., ДП № 4 до восстановительного ремонта 2-разряда с января по июль 2016 г. и ДП № 4 после реконструкции

с августа по декабрь 2016 г. было выявлено, что в результате проведения восстановительного ремонта на ДП № 4 расход кокса на покрытие удельных тепловых потерь уменьшился с 40–50 кг/т чугуна до 20–25 кг/т чугуна (рис. 5).

Тепловые нагрузки и остаточная толщина футеровки металлоприемника во многом определяют надежную и безопасную работу домен-

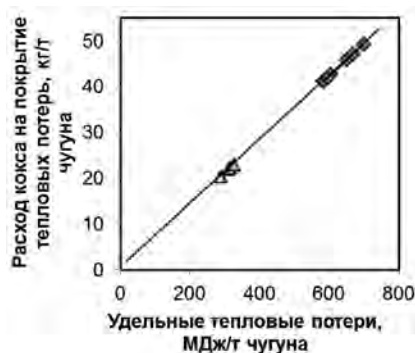


Рис. 5. Расход кокса на покрытие тепловых потерь на ДП № 4 ПАО «Запорожсталь»:

- ◆ - январь - июль 2016 г. (до реконструкции)
- ▲ - август - декабрь 2016 г. (после реконструкции)

ной печи с высокими техническими показателями и длительность межремонтного периода ее работы (кампании печи). В этом направлении ИЧМ НАНУ ведет постоянные разработки [8]. На сегодняшний день системы автоматизированного контроля тепловой работы и разгара горна (САК «Горн») внедрены на 8 доменных печах (рис. 6).

На данный момент ведутся предпроектные проработки по внедрению САК «Тепловые потери», САК «Шахта» и САК «Горн» в комплексную экспертно-информационную систему на

первой в Украине ДП № 3 ПАО «Запорожсталь», спроектированной для работы с ПУТ.

**Выводы**

1. Тепло-газодинамические и восстановительные процессы, протекающие в объеме доменной печи, как в большом калориметре, отражаются на поле температур кожуха, холодильников и футеровки, параметрах работы системы охлаждения.

2. Автоматизированный контроль тепловой работы периферийной зоны доменной печи является необходимым условием выбора рационального технологического режима ведения доменной плавки, научно обоснованного совершенствования конструкции и профиля доменных печей.

3. Наибольший эффект от применения систем автоматизированного контроля внешних тепловых потерь, разгара футеровки и показателей тепловой работы на доменных печах будет достигнут при их интегрировании в комплексные экспертные системы, работающие в режиме советчика мастера доменного цеха.

*Сотрудники ИЧМ, разработчики систем выражают глубокую признательность своим учителям: А. В. Бородулину, В. В. Большакову, В. В. Канаеву, В. К. Хрущу и С. Т. Шулико.*

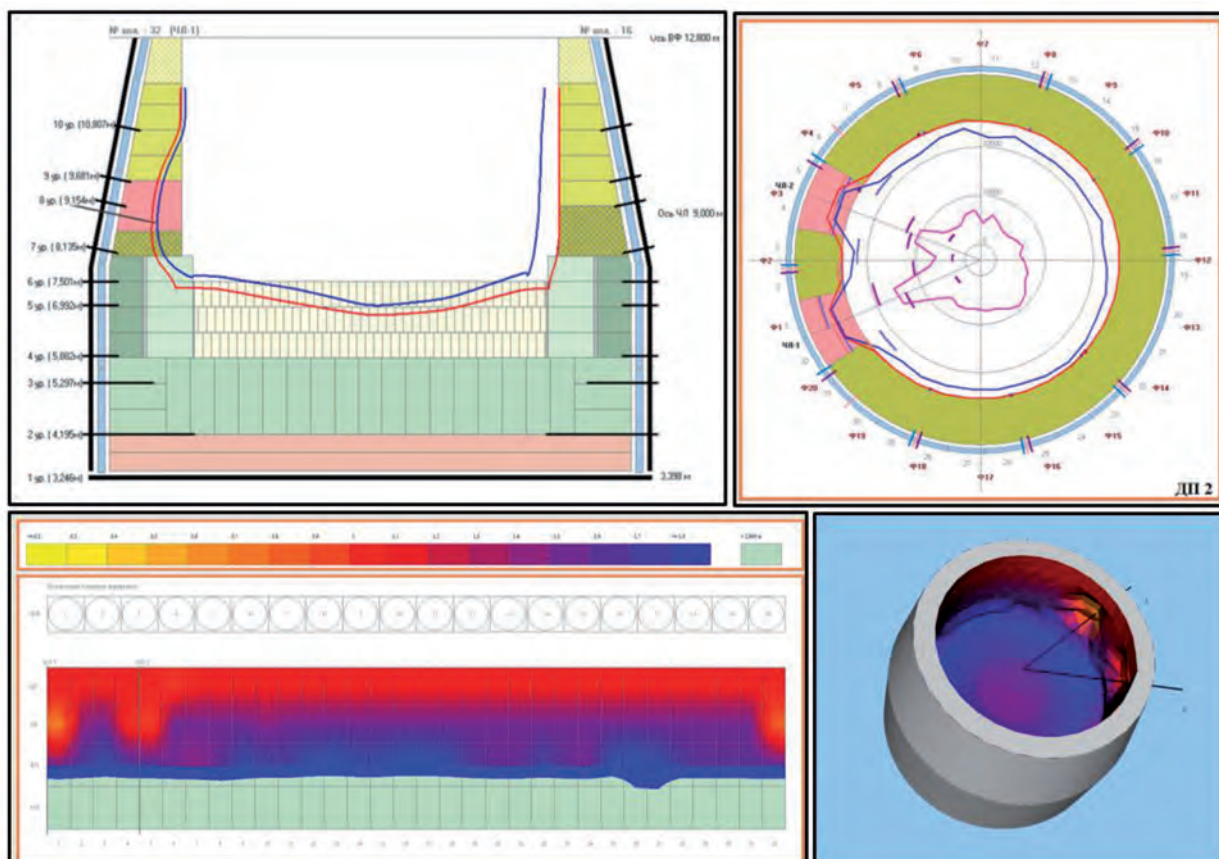


Рис. 6. Видеокдры САК «Горн», установленной на ДП № 2 ПАО «Запорожсталь»

### Библиографический список / References

1. Домна в энергетическом измерении / А. В. Бородулин, А. Д. Горбунов, В. И. Романенко, С. П. Суцев – Днепродзержинск: «ДГТУ», 2006. – 541 с.  
Borodulin A. V., Gorbunov A. D., Romanenko V. I., Sushchev S. P. *Blast furnace in the energy measurement*. Dneprodzerzhinsk, DSTU, 2006, 541 p.
  2. Доменное производство на рубеже XXI века / Н. А. Савчук, И. Ф. Курунов // Новости черной металлургии за рубежом. – 2000. – Ч. II. – Приложение 5. – 43 с.  
Savchuk N. A., Kurun I. F. *Blast-furnace production at the turn of the XXI century*. News of ferrous metallurgy abroad. 2000, part II, attachment II, 43 p.
  3. Исследования тепло-газодинамической работы в «сухой» зоне доменной печи и применение их результатов / В. И. Большаков, А. А. Сохацкий, А. Л. Чайка и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – № 2. – С. 15–19.  
Bolshakov V. I., Sokhatsky A. A., Chaika A. L. *Studies of heat-gas-dynamic work in a "dry" area of the blast furnace and the application of their results*. Metallurgical and Mining Industry. 2013, no. 2, pp. 15-19.
  4. Кожух В. Я. Контроль потерь тепла в доменной печи / В. Я. Кожух // Сталь. – 1965. – № 4. – С. 298–301.  
Kozhuh V. Y. *Control heat loss in the blast furnace*. Steel. 1965, no. 4, pp. 298-301.
  5. Системная надежность доменного производства с использованием пылеугольного топлива / В. И. Большаков, А. Л. Чайка, В. В. Лебедь, А. А. Сохацкий, К. С. Цюпа, Б. В. Корнилов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. – № 7. – С. 22–30.  
Bolshakov V. I., Chaika A. L., Lebed V. V., Sokhatsky A. A., Tsyupa K. S., Kornilov B. V. *System reliability using blast furnace coal injection*. Metallurgical and Mining Industry. 2015, no. 7, pp. 22-30.
  6. Влияние футеровки и системы охлаждения шахты на расход кокса и ресурс доменных печей ПАО «Запорожсталь» при применении пылеугольного топлива / С. В. Гоман, В. И. Набока, А. П. Фоменко, А. Л. Чайка, В. В. Лебедь, А. А. Сохацкий, К. С. Цюпа // Черные металлы. – 2017. – № 1. – С. 25–34.  
Goman S. V., Nabokov V. I., Fomenko A. P., Chaika A. L., Lebed V. V., Sokhatsky A. A., Tsyupa K. S. *The impact of the lining and the shaft of the cooling system on the coke consumption and blast furnace life PJSC «Zaporizhstal» in the application of pulverized coal*. Black metals. 2017, no. 1, pp. 25-34.
  7. Перспективы использования теплоэнергетических параметров доменной плавки в составе АСУ ТП доменной печи / А. Л. Чайка, Д. В. Пинчук, С. В. Кетлер, А. И. Швачка, А. А. Сохацкий // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2011. – Вып. 24. – С. 77–88.  
Chaika A. L., Pinchuk D. V., Kettler S. V., Shvachka A. I., Sokhatsky A. A. *Prospects for the use of heat and power parameters of blast furnace as part of APCs blast furnace*. Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. 2011, vol. 24, pp. 77-88.
  8. Тепловая работа и перспективные конструкции шахты и металлоприемника доменной печи при применении пылеугольного топлива / В. И. Большаков, А. В. Бородулин, А. Л. Чайка, В. В. Лебедь, А. А. Сохацкий, Г. В. Панчоха // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. – № 3. – С. 106–110.  
Bolshakov V. I., Borodulin A. V., Chaika A. L., Lebed V. V., Sokhatsky A. A., Panchoha G. V. *The thermal operation and future of the mine design and the metal reservoir blast furnace coal injection in the application*. Metallurgical and Mining Industry. 2014, no. 3, pp. 106-110.
- Purpose.** Increase the service life of blast furnaces, save coke, select scientifically sound rational solutions for conducting blast furnace smelting technology on the basis of cognition and the results of automated monitoring of the heat performance of the peripheral zone of the blast furnace.
- Methodology.** The principles of system analysis and the solution of the direct and inverse problem of controlling the thermal performance of DP are used. Information obtained in experimental and analytical studies on the distribution of temperatures and heat fluxes for the creation of automated control systems for the height of the lining of the hearth and mine, heat losses and the detection of "disturbances" in the thermal and gas-dynamic operation of the furnace.
- Findings.** SAK heat losses, the height of the lining and heat performance indicators were developed and implemented on blast furnaces of Ukraine. The regularities of the change in heat losses, destruction of the lining, formation of the skull, deviations in the thermal regime of the blast furnace are determined, depending on the design of its cooling system, the properties of refractory lining and the technology of blast furnace smelting.
- Originality.** Methods control heatengineering furnace parameters and its zones, temperature-thermal state of the furnace and its peripheral area, which allow to evaluate the effectiveness of the selected heat-gas-dynamic mode, to control the wear profile, taking science-based solutions, in advisor mode, to change the heat-gas-dynamic regime Operation of the furnace in order to reduce the specific costs of coke to cover external heat losses and to prevent disturbances in the heat and gas-dynamic regime of the furnace.

**Practical value.** Information received from the automated control systems, makes it possible to identify the most vulnerable places in the design of the furnace and cooling system, disturbances in the thermal operation of the furnace, and science-based to choose their method of eliminating their solutions during major overhauls of the first and second digits and the choice of a rational mode of conducting domain. The economic effect is achieved due to the timely identification and reduction of the risks of increasing heat losses in the cooling system, premature deterioration of the system's water cooling burnout shaft refrigerators, water ingress into the furnace downtime and the quiet running of the furnace and, as a consequence, reducing the risks that

are associated with an increase in consumption of coke, a decrease in production and a decrease in the duration of the furnace campaign.

**Key words:** blast furnace, automated control system (SAK), lining, garbage, heat losses, cooling system, peripheral zone, coke consumption, resource.

Рекомендована к публикации  
д. т. н. А. К. Таракановым

Поступила 02.03.2017



УДК 669.162.266

Наука

В. В. Бочка /д. т. н./, А. В. Двоєглазова,  
А. В. Сова, Р. С. Бочка, М. М. Бойко /к. т. н./

Національна металургійна академія України,  
м. Дніпро, Україна  
e-mail: alicjust53@gmail.com

## Оцінка ефективності використання комплексного флюсу при спіканні агломерату

V. V. Bochka /Dr. Sci. (Tech.),  
A. V. Dvoiehlazova, A. V. Sova, R. S. Bochka,  
M. M. Boyko /Cand. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro,  
Ukraine  
e-mail: alicjust53@gmail.com

## Evaluation of the efficiency of the using an complex flux on the sintering process

**Мета.** Дослідити вплив різних флюсуючих добавок на технологічні показники спікання агломерату.

**Методика.** Для проведення досліджень впливу виду флюсуючої добавки на показники спікання агломерату було проведено 7 спікань, склад шихти для кожного варіанта спікання розраховувався окремо та відрізнявся видом і кількістю флюсуючої добавки.

**Результати.** Результати досліджень підтвердили високу ефективність заміни традиційних флюсів на комплексний, вироблений шляхом випалу гранул вапняку з нанесеним на нього шаром залізорудних матеріалів. При використанні комплексного флюсу вихід годного збільшується на 8,37 % порівнянні зі звичайним вапняком. При цьому значно збільшується питома продуктивність агломераційної установки на 16,03 %, покращується якість агломерату (індекс на удар підвищився на 2,96 %). При заміні суміші вапняку та вапна в аглошихті комплексним флюсом вихід годного збільшився на 4,97 %, індекс на удар – на 0,17 %, а питома продуктивність зростає на 3,31 %.

**Наукова новизна.** Обґрунтовано параметри комплексного флюсу, що забезпечують високу ефективність аглопроцесу. (Іл. 6. Табл. 3. Бібліогр.: 3 назв.)

**Практична значущість.** Результати досліджень цієї статті можна використовувати при виборі флюсуючих добавок для спікання агломерату.

**Ключові слова:** агломерат, спікання, вапняк, комплексний флюс.

**Постановка завдання.** При виробництві офлюсованої залізорудної сировини використовується значна кількість флюсових добавок, серед яких особливе значення мають вапняк та

вапно [1]. Необхідність їх використання обумовлена особливостями їхньої поведінки, наприклад, при підготовці шихти та в процесах спікання агломерату. Так, вапняк завдяки своїм