

## ПРОЕКТ 7.12

Розробка заходів з продовження кампанії доменних печей шляхом удосконалення технології завантаження, шлакового режиму і автоматизованого контролю параметрів доменної плавки за умов погіршення якості шихтових матеріалів

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ КАМПАНИИ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПУТЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГРУЗКИ, ШЛАКОВОГО РЕЖИМА И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ КАЧЕСТВА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Академик НАН Украины, докт. техн. наук **В.И. БОЛЬШАКОВ**,  
Н.Г. ИВАНЧА, канд. техн. наук А.С. НЕСТЕРОВ, докт. техн. наук И.Г. МУРАВЬЕВА,  
докт. техн. наук Д.Н. ТОГОБИЦКАЯ, канд. техн. наук Ю.С. СЕМЕНОВ  
(Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины)

Известно, что основными технологическими факторами, обеспечивающими увеличение длительности кампании доменной печи, являются стабильность и соответствие шихтовых материалов стандартам качества, параметры режима загрузки, обеспечивающие требуемый характер распределения компонентов шихты и газового потока, рациональные шлаковый и дутьевой режимы, а также технологически обоснованный режим обработки продуктов плавки.

Для современных условий доменной плавки характерны непостоянство свойств шихтовых материалов, ухудшение их качества, а также использование в составе загружаемой в доменные печи шихты нетрадиционных материалов, как правило, худшего, по сравнению с основными компонентами шихты, качества (отсеваемые фракции шихтовых материалов, сталеплавильные шлаки и скрап, антрацит, железо–углеродсодержащие брикеты и т.д.). Вместе с тем, для обеспечения длительного срока службы футеровки шахты доменной печи необходимо применение высококачественных железосодержащих материалов, а срок службы футеровки горна в значительной степени определяется качеством загружаемого кокса. С целью создания базы технологических решений по увеличению продолжительности кампании доменных печей и поддержания их стабильного хода, определяющего технико–экономическую эффективность плавки в изменяющихся условиях, в Институте черной металлургии НАНУ разработан комплекс новых мероприятий по совершенствованию технологии загрузки шихты, шлакового режима, а также требования к оснащению доменных печей современными средствами и системами контроля параметров доменной плавки, обеспечивающими полноту информации для оценки выбранных режимов и состояния доменной печи.

*Создание устойчивого гарнисажа* является одним из основных мероприятий, направленных на обеспечение сохранности футеровки шахты и металлоприемника доменной печи, что способствует увеличению продолжительности ее кампании. Основными негативными факторами, способствующими ускоренному разрушению огнеупоров шахты и заплечиков доменной печи, являются:

- агрессивное воздействие оксидных расплавов, вызванное использованием значительного количества окатышей и некоторых вторичных ресурсов в составе железорудной части шихты;
- разрушающее воздействие щелочных соединений;
- нестабильность гарнисажа, обусловленная текущими изменениями свойств шихтовых материалов.

На основе выполненной на различных предприятиях отрасли оценки состояния футеровки доменных печей во время ремонтных работ первого и второго разрядов, анализа состава и свойств

образцов железорудных материалов, кокса, гарнисажа, настылей, остатков футеровки шахты, извлеченных из доменных печей, лабораторного изучения контактной зоны взаимодействия железорудных расплавов с различными огнеупорными материалами, сформулированы требования к шихтовым материалам, загружаемым в пристеночную зону доменных печей с различной футеровкой. Согласно этим требованиям для формирования устойчивого гарнисажа в нижней зоне доменной печи необходимо получить первичный жидкоподвижный (вязкостью менее 0,8 П·с), низкотемпературный железистый расплав массой более 10 % от массы загружаемого в пристеночную зону железорудного материала. Диапазон температур, соответствующих вязкопластичному состоянию материала и его капельному течению, составляет 1270–1350°C. Содержание FeO в жидкоподвижном первичном шлаковом расплаве должно находиться в пределах 10–15 % для печей с шамотной футеровкой и 18 – 25 % для печей, потерявших футеровку шахты печи либо футерованную высокотеплопроводными материалами. Получить расплав с заданными свойствами можно при проплавке смеси агломерата, окатышей и низкокремнистой руды в соотношении  $75 \div 90 : 5 \div 15 : 5 \div 10$ . Важным условием формирования устойчивого гарнисажа в доменной печи является стабилизация качества и свойств загружаемого в доменные печи сырья.

**Защита футеровки шахты и запечиков и увеличение срока службы воздушных фурм в условиях работы доменных печей с высоким содержанием окатышей в шихте.** Увеличение количества окатышей в составе доменной шихты вызвано дефицитом агломерата, который, в свою очередь, обусловлен в основном недостаточной производительностью и неудовлетворительным состоянием оборудования агломерационного производства. Соответственно, металлургические свойства доменной шихты в целом изменяются в зависимости от содержания в ней окатышей. В частности, увеличение содержания окатышей в шихте обуславливает повышение агрессивности образующихся расплавов. При их содержании более 20 – 25 % образующееся в процессе плавки повышенное содержание закиси железа FeO в первичных шлаковых расплавах вызывает перерождение огнеупора и его последующее разрушение, а также может вызывать прогар воздушных фурм «сверху». Как указывалось выше, основным технологическим приемом защиты футеровки от воздействия агрессивных расплавов остается создание условий для образования стабильного по толщине и свойствам, постоянно обновляющегося гарнисажа. Кроме этого, для уменьшения агрессивного воздействия расплавов окатышей на защитную кладку печи и воздушные фурмы, а также для предотвращения спонтанного схода гарнисажа, технологические требования к распределению шихтовых материалов по радиусу печи предусматривают обеспечение основности материала у периферии, несколько превышающей основность конечного шлака. Следовательно, содержание окатышей в смеси железорудных материалов в периферийной зоне должно быть меньше, чем в среднем по печи. Указанное требование реализуется при помощи формирования железорудных порций (железорудной части подач) с заданной структурой, обеспечивающей предотвращение концентрации окатышей на периферии печи, что, в свою очередь, достигается правильным выбором параметров, определяющих структуру порции (железорудной части подач) шихтовых материалов, главным образом, головной части смешанных железорудных порций (железорудной части подач). В результате выполнения проекта уточнены зависимости для определения головной части железорудных порций доменных печей Украины, что в совокупности с полученными зависимостями, характеризующими распределение добавок (вторичных ресурсов), позволит обеспечить формирование смеси шихтовых материалов заданного состава в пристеночной зоне доменной печи.

С использованием полученных зависимостей определена рациональная масса головной части для железорудных порций, загружаемых в ДП 3 ПАО «Енакиевский металлургический завод» («ЕМЗ»). Диапазон рациональных значений массы головной части составил 10–15 т агломерата в зависимости от содержания окатышей в шихте и его свойств. Обоснованный выбор массы головной части железорудной порции позволил стабилизировать тепловое состояние периферийной зоны доменной печи, улучшить условия гарнисажеобразования и предотвратить ускороенный выход из строя воздушных фурм.

**Уменьшение негативного воздействия щелочных соединений на стойкость футеровки доменных печей.** Основным источником поступления соединений калия и натрия в доменные печи является кокс. Кроме того, щелочные соединения присутствуют во всех шихтовых материалах доменных печей Украины. С целью оперативного контроля накопления щелочей в доменной печи в составе системы контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки «Шлак» разработана подсистема «Alkalis»,

которая на основе оценки щелочной емкости доменного шлака позволяет осуществлять диагностику технологической ситуации и выдавать рекомендации по оптимизации состава шлака путем корректировки состава шихты, обеспечивающего регламентируемые соотношения щелочной емкости и щелочной нагрузки.

**Защита футеровки доменной печи при увеличении содержания вторичных ресурсов в составе аглодоменной шихты.** Существенное влияние на стабильность работы доменных печей и продолжительность их кампании оказывают изменения состава и характеристик вторичных ресурсов, которые вводятся в состав агломерационной шихты. В составе агломерационной и доменной шихты может содержаться до 25 % вторичных ресурсов от массы всех железосодержащих и флюсовых материалов. Одним из технологических решений, направленных на стабилизацию химического состава агломерата и, соответственно, повышение устойчивости гарнисажного слоя явилась замена части металлургических отходов гранулами, полученными из отсева окатышей, шлама и колошниковой пыли. На ДП 3 ПАО «ЕМЗ» выбор рационального состава аглошихты, замена части неподготовленных отходов гранулами, обеспечение контроля подготовки аглотоплива к процессу спекания позволили увеличить расход вторичных ресурсов на 27 кг/т агломерата и улучшить прочность агломерата на 2,36 %. В итоге комплекс технологических мероприятий (увеличение содержания  $Fe_{\text{общ}}$  в шихте, улучшение качества агломерата, разработка программ загрузки шихтовых материалов, обеспечивающих самообновление защитного гарнисажа) обеспечил сокращение выноса колошниковой пыли на 4,3 кг/т чугуна, уменьшение количества сгоревших фурм на 13 % и снижение расход кокса на 19,6 кг/т чугуна [1].

Для доменных печей Украины, оснащенных лотковыми бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ), получены зависимости количества вторичных ресурсов (добавок) в осевой, промежуточной и периферийной зонах колошника от параметров формирования железорудных порций. В частности, для ДП 9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» («АМКР») полученные результаты по возможностям управления распределением вторичных ресурсов и добавок формализованы и систематизированы в виде, доступном для использования в технологической практике. Для ДП 3 ПАО «ЕМЗ» разработана технологическая карта загрузки вторичных ресурсов и добавок, которая содержит рациональные параметры формирования порций, включающих вторичные ресурсы и добавки, обеспечивающие рациональное их распределение на колошнике.

**Усовершенствование способов промывки горна доменной печи, обеспечивающих ее безаварийную работу в современных шихтовых условиях.** Одним из главных условий длительной безаварийной работы доменной печи является полное и регулярное освобождение горна от продуктов плавки. Отклонение от этого правила часто связано с расстройством хода печи, называемым загромождением горна. В свою очередь, загромождение горна приводит к интенсификации периферийных потоков продуктов плавки (в частности, в зоне чугунных леток) и, соответственно, к усилению износа футеровки горна, состояние которого определяет длительность кампании доменной печи. Основными причинами загромождения горна являются: низкая прочность кокса, высокая его истираемость и интенсивное разрушение в печи под влиянием термических воздействий; чрезмерное развитие периферийного хода, сопровождающееся ухудшением нагрева горна в связи с малоактивной работой осевой зоны печи; работа на шлаках с повышенной вязкостью; попадание воды в печь. Проведение своевременных эффективных промывок горна способствует нормализации движения жидких продуктов плавки.

Улучшение дренажной способности горна обычно производят за счет ввода в доменную шихту трудно восстанавливаемых материалов (сварочный шлак, окалина, шлаки сталеплавильного производства или цветной металлургии, высокозакисный агломерат) или разжижающих шлак добавок (марганцевой руды, марганецсодержащих агломератов или брикетов, плавикового шпата), а также за счет кратковременного прекращения подачи природного газа.

Как правило, промывки доменных печей по назначению делятся на профилактические «мягкие» и «целевые»:

– «мягкие» профилактические промывки, предупреждающие нарушения режимов отработки продуктов плавки, осуществляются путем загрузки в доменную печь разжижающих шлак материалов в составе каждой подачи в соответствии с выполненным расчетом шихты;

– целевые промывки осуществляются при явно выраженных «предаварийных» признаках загромождения горна или значительной толщине гарнисажа (настыли) на огнеупорной кладке печи. Принятый в практике регламент таких промывок включает, как правило, периодическую загрузку промывочной шихты (материалов или их смесей) в цикле рабочих подач в сочетании с предварительной загрузкой «холостого» кокса. При проплавке промывочных материалов, как правило, средний уровень содержания кремния в чугуне повышают на 0,15–0,30 %, а основность шлака уменьшают на 0,10–0,15 ед.

По результатам выполненной оценки эффективности использования промывочных материалов, подаваемых в смеси и отдельно проплавляемых, показана целесообразность загрузки смеси железорудных материалов и марганцевых брикетов. Усовершенствована и реализована на доменных печах ПАО «АМКР» технология «мягких промывок» доменных печей, включающая методику определения ценности промывочных материалов, регламент их использования и определение рациональной массы промывочной подачи. Разработанная технология позволила обеспечить ровную и высокопроизводительную работу доменных печей при использовании сырьевых материалов переменного качества.

На основании результатов выполненных исследований разработаны рекомендации по усовершенствованию технологии целевых промывок горна доменных печей: сформулированы технологические положения по проведению целевых промывок, предложен состав промывочной смеси с высокой промывочной способностью, разработан режим загрузки промывочных подач, обеспечивающий эффективное использование их моющего потенциала и предотвращение негативного воздействия на футеровку. Для повышения эффективности целевых промывок предложена концентрированная загрузка материала (смеси материалов) с повышенной моющей способностью в заданную зону при общем понижении основности конечного доменного шлака на 0,05–0,15 ед. Загрузку промывочных порций (подач) рекомендовано осуществлять с периодичностью 1/10–1/20 подача.

Разработаны матрицы формирования промывочных порций, обеспечивающие требуемый для «целевых» промывок состав смеси, и программы их распределения, обеспечивающие концентрированное распределение промывочной смеси в промежуточной зоне с некоторым смещением к осевой и ограничение попадания промывочных материалов за пределы заданной зоны промывки. Рекомендации по регламенту проведения целевых промывок, выбору массы и состава промывочных порций реализованы в доменном цехе ПАО «ЕМЗ».

***Разработка и реализация технологических мероприятий по стабилизации хода доменной печи и предотвращению загромождения горна при использовании кокса различного качества.***

Опыт работы доменных печей Украины показал, что ухудшение качества кокса по показателям холодной и горячей прочности и реакционной способности существенно уменьшает производительность и ухудшает экономичность хода печей, способствует ускоренному загромождению горна и возникновению связанных с этим аварийных ситуаций. Для уменьшения негативного влияния такого кокса в ИЧМ разработаны технологические приемы ведения плавки в сочетании со специальными режимами загрузки и распределения применяемого кокса по сечению печи с учетом развития процессов восстановления, газификации и теплообмена. Режим загрузки, применяемый при использовании двух и более видов кокса в шихте, должен обеспечивать:

- минимизацию потери газопроницаемости столба шихты;
- минимизацию попадания кокса пониженного качества в осевую зону доменной печи и ограничение его концентрации в периферийной зоне.

При вводе в шихту кокса пониженного качества часть его может загружаться в составе железорудных порций, состоящих из агломерата, частично офлюсованных окатышей или смеси этих компонентов. В частности, смешивание железорудных материалов и кокса увеличивает температуры начала фильтрации первичных шлаковых расплавов, уменьшает количество первичного высокозакаисного шлака и снижает в нем содержание FeO (в первую очередь, за счет реализации наиболее мелких частиц кокса). Эффективность данного приема повышается при использовании кокса с увеличенным содержанием мелких фракций, в том числе, высокорекреакционного кокса. Применяемые параметры режима загрузки должны обеспечить рациональное распределение этого компонента по радиусу колошника печи (рис. 1).

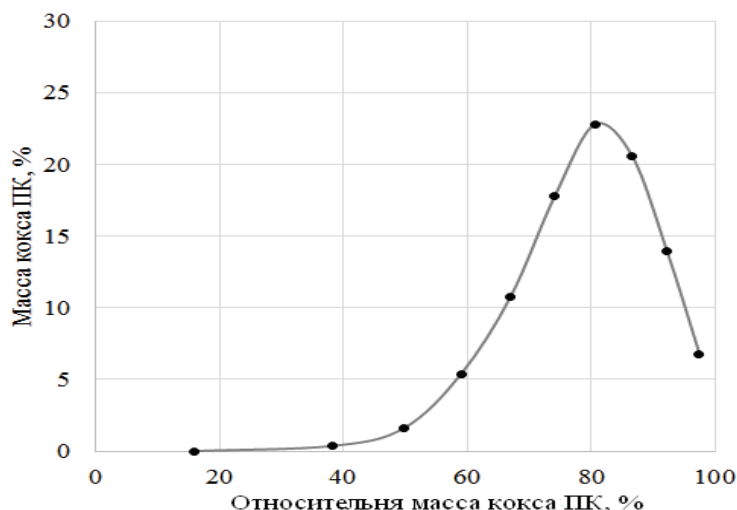


Рис. 1. Рациональное распределение кокса пониженного качества (кокс ПК) по радиусу колошника при загрузке его в составе железорудной смешанной порции (железорудной части подачи)

Стабильный ход доменной печи и нормальный прогрев осевой зоны столба шихты при работе с двумя и более видами кокса обеспечивается преимущественной загрузкой в центр печи кокса с высокими показателями горячей прочности. В этом случае зона вязко-пластичного состояния стремится к  $\Delta$ -образной форме, что способствует повышению производительности доменной печи при рациональном расходе кокса. Технологические положения загрузки доменных печей с использованием двух и более видов кокса в шихте использованы при разработке и освоении рациональных режимов загрузки доменной печи 3 ПАО «ЕМЗ», что обеспечило стабилизацию хода плавки и улучшение технико-экономических показателей работы печи.

**Корректировка шлакового режима с учетом влияния коксовой мелочи, угольной пыли и сажистого углерода.** В современных условиях работы доменных печей Украины стабильность шлакового режима снижается из-за наличия в шлаке различных включений, появление которых обусловлено следующими факторами:

- образованием большого количества мелочи и углеродистой пыли в горне доменной печи при использовании в доменной плавке кокса с низкими прочностными характеристиками, высокой дробимостью и истираемостью;
- попаданием в шлак частиц несгоревшей или сгоревшей не полностью угольной пыли при вдувании пылеугольного топлива в доменную печь;
- образованием сажистого углерода при неудовлетворительном смешивании природного газа и дутья в полости воздушных фурм и неполном сгорании газа.

Указанные гетерогенные включения повышают вязкость и плавкость доменных шлаков, в результате чего нарушается ровность хода печи, затрудняется переход серы из металла в шлак, ухудшается дренажная способность продуктов плавки в горне доменной печи. Все эти явления способствуют загромождению горна, увеличению количества прогаров воздушных фурм «снизу» [2].

Разработана методика расчета свойств конечных доменных шлаков с углеродсодержащими включениями. Для объективной количественной характеристики влияния различных добавок на свойства шлаков предложен критерий – градиент, показывающий относительное изменение величины свойства (вязкость, температура солидус  $T_c$ , температура ликвидус  $T_l$  и др.). Например, для вязкости:

$$\Delta\eta = \frac{(\eta_{доб} - \eta_o) \times 100}{\eta_o \cdot D_{доб}},$$

где  $\Delta\eta$  – градиент вязкости;  $\eta_{доб}$  – вязкость гетерогенного шлака с добавкой, Па·с;  $\eta_o$  – вязкость чистого шлака, Па·с;  $D_{доб}$  – количество добавок по отношению к массе шлака, %.

Разработаны уравнения для расчета свойств гетерогенных конечных доменных шлаков с углеродсодержащими добавками на основе соответствующих градиентов и количества добавки.

Уравнения включены в алгоритмы автоматизированной системы контроля и прогноза шлакового режима, что позволяет использовать систему «Шлак» для обоснования корректировки составов шихтовых материалов в условиях использования на печах различных энергоносителей (ПУТ, природный газ, кокс) [3]. Исследовано влияние химического состава шлаков и получены уравнения для прогноза градиентов вязкости, температуры ликвидус и солидус с использованием интегральных параметров структуры:  $\Delta e$  – химического состава и  $\rho$  – стехиометрии.

Получены прогнозные модели, позволяющие определять температурный интервал кристаллизации доменных шлаков заводов Украины в зависимости от их состава, «свернутого» через стехиометрию (рис. 2). Так, температура начала кристаллизации (температура ликвидус  $T_L$ ) определяется с помощью выражения:

$$T_L = 18738,5 - 50343,11 \cdot \rho + 36523,16 \cdot \rho^2, \quad r=0,97; \quad \mu=39,5; \quad S_{кв}=1,6 \text{ \%}.$$

Температура конца кристаллизации (температура солидус  $T_C$ ) определяется из уравнения:

$$T_C = 18800 - 52418,71 \cdot \rho + 39086,17 \cdot \rho^2, \quad r=0,99; \quad \mu=133,8; \quad S_{кв}=1,3 \text{ \%}.$$

Как следует из рис. 2, предельно допустимая величина температуры конца кристаллизации ( $T_C$ ) шлака  $T_{кк} \approx 1300^\circ\text{C}$  соответствует стехиометрии  $\rho \approx 0,715$ . При ее превышении шлаки становятся менее устойчивыми, что видно из уменьшения их интервала кристаллизации ( $\Delta T = T_{нк} - T_{кк}$ ). В случае резкого «похолодания» печи это может привести к аварии и требует повышенного расхода топлива.

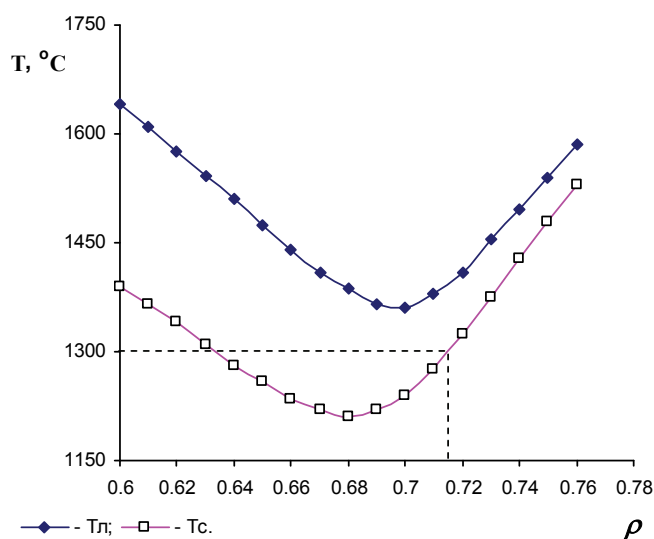


Рис. 2. Температурный интервал кристаллизации доменных шлаков заводов Украины

Сформулированы рекомендации по выбору технологических воздействий на ход плавки в случае образования гетерогенных шлаков с вязкостью, превышающей  $0,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

**Совершенствование режима тепловой обработки торкретированной поверхности шахты для увеличения ее межремонтного цикла.** Большое значение для увеличения продолжительности работы печи после ремонта ее шахты методом торкретирования имеет загрузка доменной печи в задувочный период. На основе выполненных исследований взаимодействия торкретмасс и железорудных шихтовых материалов при восстановительно-тепловой обработке разработаны рекомендации по загрузке доменной печи в задувочный период после ремонта шахты методом торкретирования, а также рекомендации по совершенствованию термической обработки огнеупорной футеровки в зоне торкретирования в раздувочный период, способствующие увеличению продолжительности срока службы слоя торкретмассы в 1,5 раза по отношению к гарантированному. Промышленное опробование разработанных рекомендаций проведено на ДП 3 и ДП 5 ПАО «ЕМЗ» [4].

**Разработка проекта нормативного документа, регламентирующего требования к установке средств и систем автоматизированного контроля плавки на доменных печах Украины.** Поддержание ровного хода является главной задачей управления доменной плавкой и одним из основных условий длительной безаварийной работы плавильного агрегата. Постоянно изменяющиеся шихтовые условия доменной плавки (как правило, ухудшающиеся) вызывают частые отклонения хода печи от нормального, что проявляется после загрузки шихтовых материалов. В связи с отсутствием оперативного достоверного химического анализа исходных шихтовых материалов, загружаемых в печь, большое значение приобретает возможность контроля возмущений, вызванных изменением качества шихты. Объем оснащения различными средствами и системами для автоматизированного контроля параметров доменной плавки на конкретной доменной печи, как правило, определяется выделяемыми на это финансовыми средствами. Кроме того, в последние годы прослеживается негативная тенденция установки на доменных печах оборудования, систем и средств автоматизированного контроля и управления плавкой, большая часть которых разработана и произведена за рубежом. Как показал опыт освоения этих средств и систем, они зачастую слабо адаптируются к условиям ведения доменной плавки на печах Украины. В настоящее время анализ, обобщение и разработка требований к уровню оснащения доменных печей Украины современными средствами и системами автоматизированного контроля и управления доменной плавкой является актуальной задачей. По ряду характеристик разработанные на Украине средства и системы контроля параметров доменной плавки имеют преимущества по сравнению с иностранными аналогами [5].

Многолетний опыт освоения и анализа работы крупнейших доменных печей бывшего СССР, а также результаты выполненных за последние годы исследований позволил авторам проекта обосновать необходимый объем оснащения доменных печей средствами и системами автоматизированного контроля параметров доменной плавки и в результате разработать обобщенные (для печей различного объема, оснащенных конусными загрузочными устройствами и БЗУ) требования к необходимому уровню автоматизированного контроля доменной плавки. Разработанные в обобщенном виде требования к установке на доменных печах Украины средств контроля представляют собой проект нормативного документа для организаций, проектирующих строительство и ремонты доменных печей. В настоящее время проект этого документа находится на согласовании в ГП «УКРГИПРОМЕЗ».

Комплекс разработанных при выполнении проекта технических и технологических решений направлен на увеличение кампании доменных печей в особых современных условиях непостоянства и ухудшения свойств шихтовых материалов. Как показано в статье, предложенные решения реализованы на ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и ПАО «Енакиевский металлургический завод». Помимо экономической эффективности и улучшения технологических показателей, разработанные решения позволили, в совокупности с реализованными ранее при выполнении проектов программы «Ресурс» разработками Института, обеспечить продолжительную и безаварийную работу ДП 9 ПАО «АМКР», а также ДП 3 и ДП 5 ПАО «ЕМЗ». Реализованные технологические разработки, созданные новые автоматизированные системы контроля и прогноза процессов доменной плавки при условии проведения запланированного на 2019 г. капитального ремонта первого разряда позволят увеличить продолжительность кампании ДП 9 до 16 лет. Общемировая практика определяет среднюю продолжительность кампании печи на уровне 15 лет, что, учитывая низкое качество шихтовых материалов, используемых на предприятиях Украины, подтверждает высокую эффективность разработанных при выполнении проекта мероприятий.

1. *Эффективная работа аглодоменного производства ПАО «ЕМЗ» при расширении использования в шихте вторичных ресурсов и окатышей* [В.И. Большаков, А.С. Нестеров, А.Г. Коваленко, А.М. Кузнецов, А.В. Зубенко] – Сталь, 2014. – 11. – С. 7–9.
2. *Вегман Е.Ф.* Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев, Ю.С. Юсфин – М.: Металлургия. –1978. –480 с.
3. *Приходько Э.В.* Прогнозирование физико-химических свойств оксидных систем / Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, Д.А. Степаненко. – Днепропетровск: Пороги. –2013. –344 с.
4. *Реализация энергосберегающей технологии загрузки современной доменной печи в конъюнктурных топливно-сырьевых и технологических условиях* / [В.И. Большаков, Ю.С. Семенов, Е.И. Шумельчик, В.В. Горуша, А.Л. Подкорытов, А.В. Зубенко] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2014. – 6 – С. 6–14.
5. *Большаков В.И.* Применение радиолокационных систем измерения поверхности засыпи шихты для контроля и управления доменной плавкой / В.И. Большаков, И.Г. Муравьева, Ю.С. Семенов. – Днепропетровск: Пороги, 2013. – 364 с.