

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФАКУЛЬТЕТ	Металлургии и теплоэнергетики (название)
КАФЕДРА	Руднотермические процессы и малоотходные технологии (название)
НАПРАВЛЕНИЕ	22.04.02 «Металлургия» (код, название)
МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА	Металлургия чугуна (название)

УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий кафедрой  
руднотермических процессов и  
малоотходных технологий  
Кочура В.В.  
(Подпись) (ФИО)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

**Яшин Иван Николаевич**

(Подпись автора магистерской диссертации)

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**Совершенствование технологии доменной плавки за счет улучшения  
газопроницаемости столба шихтовых материалов**

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ**

Доцент кафедры РТП и МТ, к.т.н., доцент, Кузин А.В.

(Должность, ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество)

(Подпись)

**НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ**

Профессор кафедры РТП и МТ, к.т.н., доцент, Клягин Г.С.

(Должность, ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество)

(Подпись)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФАКУЛЬТЕТ	Металлургии и теплоэнергетики (название)
КАФЕДРА	Руднотермические процессы и малоотходные технологии (название)
НАПРАВЛЕНИЕ	22.04.02 «Металлургия» (код, название)
МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА	Металлургия чугуна (название)

УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий кафедрой  
руднотермических процессов и  
малоотходных технологий  
Кочура В.В.  
(Подпись) (ФИО)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Студента Яшина Ивана Николаевича Группы МЧмф-17  
(Фамилия, имя, отчество)

1. Тема магистерской диссертации: Совершенствование технологии  
доменной плавки за счет улучшения газопроницаемости столба  
шихтовых материалов

Тема магистерской диссертации утверждена приказом № 1075-14 от 12.12.2017 г.

**Консультанты:**

*Безопасность в доменной цехе при подготовке шихтовых  
материалов к доменной плавке  
доц. кафедры РТП и МТ, к.т.н.*

Темнохуд В.А.

*Охрана окружающей среды  
зав. кафедры РТПиМТ, к.т.н.*

Кочура В.В.

*Экономическое обоснование предлагаемых мероприятий  
доц. кафедры ФЭБ, к.э.н.*

Бурлуцкий Б.В.

*Нормоконтролер  
доц. кафедры РТПиМТ, к.т.н.*

Сидоренко Г.Н.

**3. Научно-исследовательская программа подготовки магистерской диссертации:**

*Изучение научно-технической литературы и производственных данных по теме магистерской диссертации 12.02.2019-15.03.2019*

---

*Современное состояние производства чугуна и кокса в мире 15.03.2019–15.04.2019*

---

*Подготовка металлургического кокса и обоснование увеличения расхода коксового орешка 15.03.2019–01.06.2019*

---

*Безопасность в доменном цехе при подготовке шихтовых материалов к доменной плавке 01.06.2019–14.06.2019*

---

*Охрана окружающей среды 01.06.2019–14.06.2019*

---

*Экономическое обоснование предлагаемых мероприятий 15.06.2019–20.06.2019*

---

*Оформление магистерской диссертации, подготовка демонстрационных материалов 20.06.2019-26.06.2019*

---

*Рецензирование магистерской диссертации 27.06.2019*

---

*Защита магистерской диссертации 28.06.2019*

---

**4. Срок сдачи студентом оформленной магистерской диссертации** 28.06.2019 г.

**5. Дата выдачи задания** 12.02.2019 г.

**6. Научный руководитель** к.т.н., доцент, доцент, Кузин А.В. \_\_\_\_\_ (Подпись)  
(ученая степень, ученое звание, должность, фамилия)

Задание принял к исполнению 12.02.2019 г. \_\_\_\_\_  
(Дата) (Подпись)

## РЕФЕРАТ

ВКР: с., рис., табл., прил., источника(ов)

КОКС, ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ, ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ,  
КОКСОВЫЙ ОРЕШЕК, РАЗРЫХЛЕНИЕ, ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ,  
СМЕШИВАНИЕ, ГОРЯЧАЯ ПРОЧНОСТЬ, РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ,  
*Объект исследования* – технология доменной плавки.

*Предмет исследования* – влияние подготовки металлургического кокса по фракционному составу на технологию доменной плавки.

*Метод исследования* – анализ и обработка литературных источников, изучение и анализ результатов полученных в результате лабораторных исследований, промышленный опыт.

Лабораторные исследования показали, что введение коксового орешка в слой железорудного материала улучшает газопроницаемость железорудной линзы. Показано, что введение в слой агломерата коксового орешка в количестве от 10 до 20% способствует снижению перепада давления в столбе шихтовых материалов; ввод коксового орешка в количестве от 20 до 30% от расхода кокса дает дополнительное снижение перепада давления и улучшает газопроницаемость получаемой смеси.

Расчеты показали, что, по сравнению с базовым периодом, повышение расхода ПУТ до 140,0 кг/т чугуна позволяет снизить расход скипового кокса до 397,5 кг/т чугуна, а условного топлива – на 30 кг/т чугуна, дальнейшее повышение расхода ПУТ лимитировано превышением критических значений определяющих показателей.

Область применения – в доменных цехах Украины и России.

					<b>22.04.02 РТПиМТ 2019.МД 01.ДО ПЗ</b>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>Совершенствование технологии доменной плавки за счет улучшения газопроницаемости столба шихтовых материалов</i>			Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Яшин И.Н.								
Руковод.		Кузин А.В.								
Консульт.		Клягин Г.С.								
Н.контр.		Сдоренко Г.Н.								
Заб. каф.		Кочура В.В.			ДонНТУ, каф. РТП и МТ, зр. МЧмф-17					

## ANNOTATION

L'objet de l'étude est la technologie de fusion dans le haut fourneau.

L'objet de la recherche est l'effet de la préparation du coke selon la composition fractionnée sur la technologie de fusion.

La méthode de recherche est l'analyse et le traitement des sources littéraires, l'étude et l'analyse des résultats obtenus à la suite de recherches en laboratoire, l'expérience industrielle.

Des études en laboratoire ont montré que l'introduction de noicette de coke dans la couche de minerai de fer améliore la perméabilité au gaz de la loupe de minerai de fer. Il est montré que l'introduction d'une noicette de coke en une quantité de 10 à 20% dans la couche d'aggloméré contribue à la réduction de la perte de charge dans la colonne de matériaux de charge; un apport de la noicette de coke représentant entre 20 et 30% de la consommation de coke donne une diminution supplémentaire de la perte de charge de gaz et améliore la perméabilité aux gaz du mélange obtenu.

Les calculs montrent que l'augmentation de la consommation de charbon pulvérisé à 140,0 kg/t de fonte, par rapport à la période de base, réduit la consommation de coke à 397,5 kg/t de fonte et à 30 kg/t de combustible de référence. Une augmentation supplémentaire de la consommation de charbon pulvérisé est limitée par le dépassement des valeurs critiques des déterminants.

Domain d'utilisation est dans les hauts fourneaux de l'Ukraine et de la Russie.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	6
1 Мировое состояние производства чугуна и стали и наметившиеся тенденции в черной металлургии .....	8
1.1 Производство чугуна и стали в мире .....	8
1.2 Формирование столба шихтовых материалов и основные элементы газодинамики зернистого слоя в доменной печи .....	10
1.3 Факторы, влияющие на газодинамику столба шихты и опыт внедрения мероприятий, улучшающих газодинамику .....	12
1.4 Заключение и постановка задачи .....	33
2 История и современное состояние Енакиевского металлургического завода.....	34
3 Подготовка металлургического кокса и обоснование увеличения расхода коксового орешка .....	51
3.1 Подготовка металлургического кокса на складе окатышей и кокса и на бункерной эстакаде .....	51
3.2 Оценка качества используемого на Енакиевском металлургическом заводе кокса, по корреляционным коэффициентам .....	64
3.3 Исследование газодинамики столба шихты на опытной установке в лабораторных условиях .....	73
3.4 Характеристика работы доменного цеха ЕМЗ за период 2015-2018 гг. ....	79
4 Безопасность в доменном цехе при подготовке шихтовых материалов к доменной плавке.....	91
5 Охрана окружающей среды.....	101
6 Экономическое обоснование предлагаемых мероприятий.....	107
Заключение .....	111
Список использованных источников .....	112
Приложение А. Программа расчета газопроницаемости «сухой» зоны.....	119
Приложение Б. Перевод части текста на французский технический язык.....	121
Приложение В. Статьи на научно-практические конференции.....	131
Приложение Г. Демонстрационный материал.....	151

## ВВЕДЕНИЕ

Технология выплавки чугуна в доменных печах является одной из наиболее энергозатратных процессов в сфере передела металла. В связи с тем, что доменный процесс является непрерывным, отклонение от нормального хода печи чревато негативными последствиями в виде перерасхода кокса, снижением производительности агрегата, увеличением количества простоев и т.п.[1].

С целью минимизации возникновения негативных факторов в доменной плавке, а также совершенствования технологических режимов на перспективу, происходит осуществление автоматического управления доменным процессом. Автоматическое управление доменной плавкой тесно связано с основным принципом работы доменной печи – движение шихтовых материалов в противотоке к нагретым восстановительным газам. Целью автоматизации является эффективное использование тепловой и восстановительной энергии газового потока; максимальная эффективность использования энергии газового потока достижима в случае равномерного распределения восстановительного газа по всему сечению печи, в любом месте и обработки единицы железорудной части равным количеством восстановительного газа [1-3]. Получение вышеописанного эффекта доменщики осуществляют за счет оптимизации процесса плавки, текущему регулированию, применению компенсирующих мероприятий.

Текущее регулирование обеспечивает нормальный ход доменной печи за счет равномерного распределения газодинамической и тепловой нагрузок по секторам доменной печи. Такое «распределение» осуществляется за счет воздействий на процесс как «сверху», так и «снизу».

Воздействие «сверху» осуществляется порядком завалки материалов, управлением распределителя шихты, количеством материала, изменением давления на колошнике и т.д. Это, в свою очередь, влияет на формирование структуры столба шихтовых материалов, его неоднородность и

газодинамические характеристики. Воздействие «снизу» осуществляется регулированием расхода дутья и его распределением по фурмам, регулированием температуры, содержания кислорода и влажности дутья, применением дополнительных видов топлива, таких, как мазут, природный газ и пылеугольное топливо.

Анализируя работу нижней и верхней зоны доменной печи, а также влияние воздействий как «сверху», так и «снизу», доменщики могут регулировать ход доменной плавки, согласовывать работу зон по всей высоте доменной печи, использовать резервы этих зон, особенно нижней, находящейся в сложном газодинамическом режиме.

Нормализация газодинамического режима позволяет регулировать распределение газового потока от оси фурм до колошника, что в свою очередь, позволяет выбрать и поддерживать оптимальные сочетания форсирования хода печи и степени использования химической энергии газов.

Помимо этого, газодинамический режим является определяющим фактором доменного процесса в связи с его влиянием на формирование тепло- и массообменных процессов в печи.

Улучшение состояния газодинамики столба шихты осуществляется за счет: применения качественной и подготовленной железорудной части; применения кокса с высокими прочностными показателями; снижения выхода шлака за счет увеличения богатства шихты и т.п.

В связи с тем, что газодинамический режим играет значительную роль в формировании основных процессов доменной плавки, решение задачи его стабилизации и возможность использования резерва без негативных последствий для нормального хода печи, является первоочередной задачей в данной магистерской работе.



# 1. МИРОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА И СТАЛИ И НАМЕТИВШИЕСЯ ТЕНДЕНЦИИ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

## 1.1 Производство чугуна и стали в мире

Согласно данным Всемирной организации производства стали World Steel Association, за 2018 год в мире было произведено 1,239 млрд. т. чугуна и 1,809 млрд. т. стали. За 2017 год в мире было произведено 1,174 млрд.т. чугуна и 1,730 млрд.т. стали. Рост производства составил 5,52 % для чугуна и 4,6 % для стали [4].

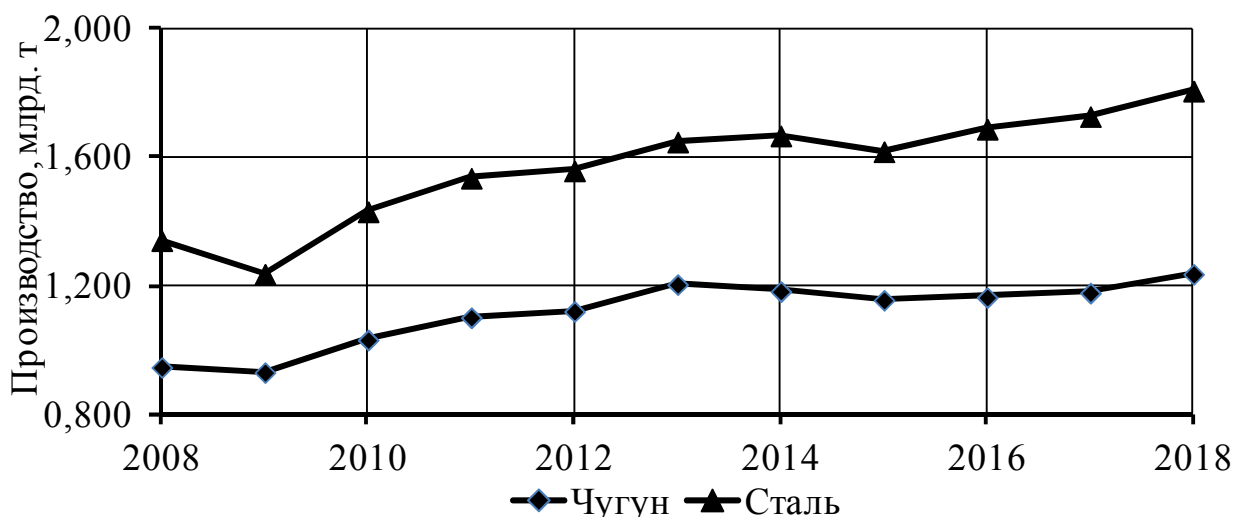


Рисунок 1.1 – Производство чугуна и стали в мире, период – 10 лет, млрд.т.

Основные производители чугуна в мире за 2018 год, в сравнении с 2017 годом, млн.т.: Азиатский регион – 981,8 (+7,09%); страны ЕС - 91,29 (-2,75%); страны СА – 34,915 (+6,1%); страны ЮА – 31,5 (-0,02%); страны СНГ – 75,2 (-1,03%).

Основные производители стали в мире за 2018 год, в сравнении с 2017 годом, млн.т.: Азиатский регион – 1271 (+5,6%); страны ЕС – 168,1 (-0,3%); страны Сев. Америки – 120,5 (+4,1%); страны Юж. Америки – 44,3 (+1,3%); страны СНГ - 101,3 (+0,3%).

На рисунке 1.2 представлена доля этих стран в мировом производстве чугуна и стали за 2018 год.

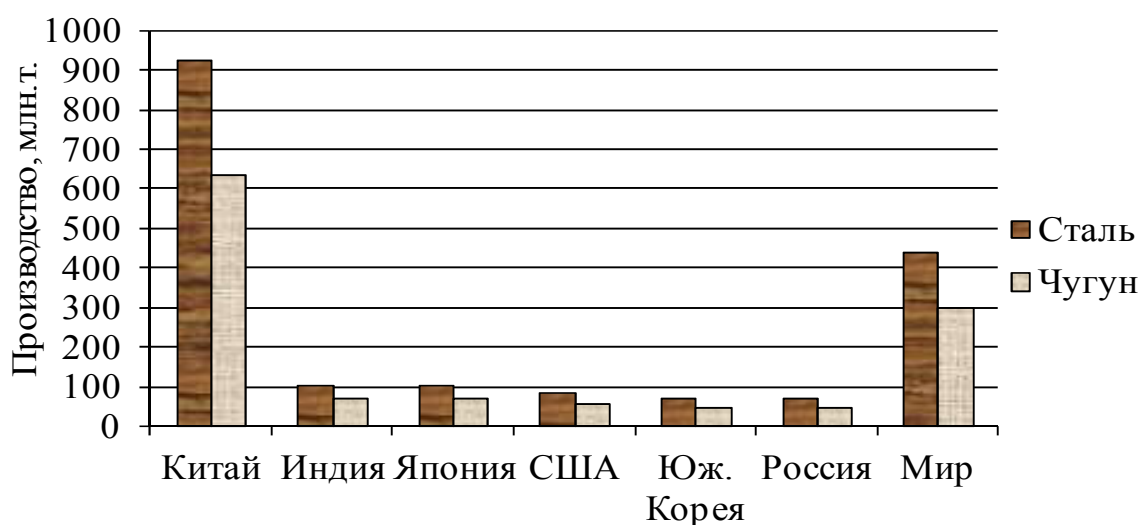


Рисунок 1.2 – Крупнейшие страны-производители чугуна и стали, %

Как видно из рисунков 1.1 и 1.2, основными производителями чугуна и стали в мире остаются: Китай, Япония, Индия, Южная Корея, США, Россия, Германия, Турция, Бразилия, Иран. Такие лидеры производства, как Китай, Япония, Индия и Южная Корея, занимают высшие строчки на протяжении длительного периода времени.

Согласно данным источника [5], к 2010 г. технология пылевдувания (ПУТ) осуществлена более чем в 30-ти странах мира, на 120-ти доменных печах. Расход ПУТ составил от 130 до 160 кг/т чугуна, расход скипового кокса снизился до 250-300 кг/т чугуна; доля замены кокса ПУТ составила 25-45%. На момент 2010 г., с применением ПУТ было выплавлено около 500 млн. т. чугуна. В Японии, Китае, Южной Корее выплавка чугуна с применением ПУТ ведется уже на протяжении длительного периода времени.

Помимо этого, согласно источнику [5], на современных иностранных доменных печах с внешним объемом от 1963 до 4550 м<sup>3</sup> были достигнуты следующие результаты: увеличен расход ПУТ до 265,5 кг/т чугуна, снижен расход скипового кокса до 250 кг/т чугуна; замена кокса ПУТ составила

40-45%. Производительность доменных печей была отмечена на уровне 1,84-2,28 т/(м<sup>3</sup>·сутки).

Столь высокие показатели работы доменных печей были достигнуты при внедрении следующих мероприятий на производстве, а именно:

- уменьшение количества доменных печей малого объема, с последующим увеличением значения усредненного объема (в Японии - вплоть до 4000 м<sup>3</sup>);
- подготовка железорудной части по фракционному составу (доля фракции 5 мм в агломерате составляет менее 4-5%);
- увеличение содержания Fe в агломерате с 54-55 до 58-60%;
- подготовка кокса по фракционному составу, с выделением из скипового кокса фракции  $\geq 80$  мм вплоть до 5% и менее, фракции 40 мм с последующим выделением коксового орешка и загрузкой его с железорудной частью;
- выведение из состава шихты сырого известняка и конвертерного шлака;
- применение ПУТ и природного газа (ПГ).

Применение указанных мероприятий позволило иностранным предприятиям освоить малококсовую технологию, без ухудшения газодинамики столба шихтовых материалов, что, в свою очередь, не нарушает нормальный ход доменной плавки.

## 1.2 Формирование столба шихтовых материалов и основные элементы газодинамики зернистого слоя в доменной печи

Столб шихтовых материалов представляет собой неоднородную структуру, состоящую из разнородных материалов, отличающихся как по химическому составу и физическим показателям, так и предназначению.

Формируют столб шихты: скиповый кокс; агломерат и окатыши; известняк обычный и доломитизированный, конвертерный шлак; брикеты

марганецсодержащие; дополнительные добавки - скрап, брикеты, окалина (промывка), граншлак (задувка), руда и т.п.

Основополагающий процесс доменной плавки, без которого не возможно образование конечного продукта – чугуна, шлака и колошникового газа, с заданными техническими и химическими показателями – является опускание шихтовых материалов под действием сил: тяжести, силы трения частиц о профиль печи, подъемной (Архимедовой) силы газов; в противоход движению шихты направлен поток горячих восстановительных газов, образованных в фурменной зоне горением кокса в газокислородной среде и при нагреве дутьем (тдутья = 1000-1200 °С). На формирование горновых газов значительное влияние оказывает состав дутья, его температура и наличие дополнительных видов топлива (ПУТ, ПГ, мазут, влага и т.п.).

Опускание шихты в доменной печи происходит за счет протекания следующих процессов: на горение кокса в фурменной зоне приходится 44-52% общего уменьшения объема шихты, на газификацию – 11-16 %, 25-35 % приходится на выпуск жидких продуктов плавки, и при уплотнении материала – на 5-15% [6].

Эффективность работы доменной печи заключается в том, чтобы восстановительный газ в максимальной мере выполнил свою основную цель - передал тепло железорудной части и восстановил часть оксидов железа косвенным путем. Этот процесс возможен в случае, если шихта обладает достаточными газодинамическими показателями.

Следует выделить следующие газодинамические показатели шихты:

- средний размер кусков в слое и их форма;
- удельная поверхность кусков в слое;
- порозность слоя, зависящая от способа укладки и формы кусков материала.

Характеристика зернистого слоя основывается на крупности кусков этого слоя, их удельной поверхностью и образываемой порозностью [7, 8].

Средний размер кусков зависит от фракционного состава загружаемого материала и доли каждой фракции в этой смеси (1.1):

$$d_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n d_i a_i, \quad (1.1)$$

где  $d_i$  - средний размер куска, мм;

$a_i$  - доля фракции в смеси, %.

$F$  -

Стоит отметить, что потери напора в слое тем больше, чем меньше размер куска материала в слое [7, 8].

Удельная поверхность зависит от размеров кусков материала и представляет собой суммарную поверхность всех кусков, сосредоточенных в  $1 \text{ м}^3$  слоя, рассчитывается по формуле 1.2 [7, 8]:

$$a = \frac{S_{\text{пов}}}{V_{\text{слоя}}}, \quad (1.2)$$

где  $S_{\text{пов}}$  - сумма поверхностей кусков в слое,  $\text{м}^2$ ;

$V_{\text{слоя}}$  - объем слоя, в котором сосредоточены куски,  $\text{м}^3$ .

Удельная поверхность находится в обратной линейной зависимости от размера кусков в слое материала.

Порозность слоя представляет собой отношение суммы объема всех межкусковых пустот к общему объему слоя в  $1 \text{ м}^3$  материала. Порозность можно рассчитать по таким формулам 1.3 и 1.4 [7, 8]:

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{пустот}}}{V_{\text{слоя}}}, \quad (1.3)$$

$$\varepsilon = \frac{(V - V_k)}{V} = 1 - \frac{\rho_{\text{нас}}}{\rho_{\text{каж}}}, \quad (1.4)$$

где  $V_{\text{пустот}}, V$  - объем пустот,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{слоя}}, V_k$  - объем слоя материала,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_{\text{нас}}$  - насыпная плотность материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho_{\text{каж}}$  - кажущаяся плотность материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$

При определении перепада давления в железорудной линзе доменной печи, используют приведенную порозность ( $\varepsilon_{\text{пр}}$ ), а в случае загрузки коксового в смеси с железорудной частью – порозность смеси ( $\varepsilon_{\text{пр}}^{\text{см}}$ ) [7, 8]:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon + n V_g (1 - \varepsilon), \quad (1.5)$$

$$\varepsilon_{\text{пр}}^{\text{см}} = \varepsilon_{\text{пр}}^{\text{м}} V_{\text{м}} + \varepsilon_{\text{пр}}^0 V_0, \quad (1.6)$$

где  $n$  - пористость материала, доли ед.;

$V_g$  - объемная доля пор, доступных для прохода газа, доли ед.;

$\varepsilon_{\text{пр}}^{\text{м}}$  и  $\varepsilon_{\text{пр}}^0$  - приведенные порозности железорудной части и коксового орешка, доли ед.;

$V_{\text{м}}$  и  $V_0$  - объемная доля железорудного материала и коксового орешка в их смеси, доли ед.

Порозность слоя не зависит от размера частиц, но на её значение оказывают влияние укладка и соотношение крупной и мелкой фракции. Порозность и потери напора в слое имеют прямую обратную зависимость, согласно соотношению  $\approx (1 - \varepsilon)/\varepsilon^3$ . [7, 8].

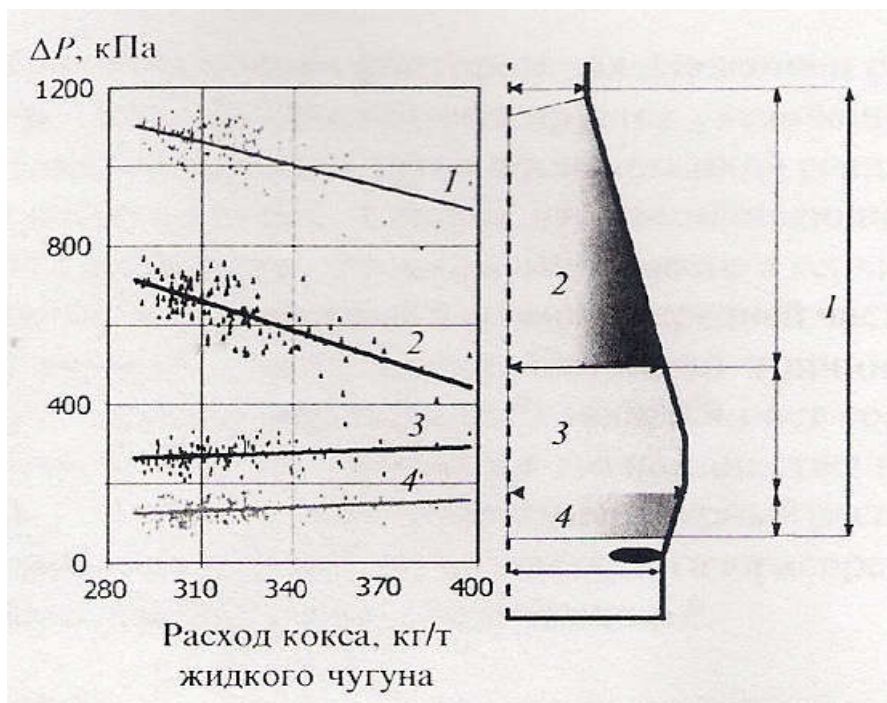
### 1.3 Факторы, влияющие на газодинамику столба шихты и опыт внедрения мероприятий, улучшающих газодинамику

Газодинамика играет лимитирующую роль при форсировании доменной плавки увеличением температуры дутья и вводом дополнительных видов топлива, поскольку непрерывный и плавный сход шихты осуществим в пределах допустимого перепада давления в столбе шихты ( $\leq 120$  кПа).

Согласно рисунку 1.3, увеличение перепада давления происходит в верхних горизонтах доменной печи; что же касается средних и нижних горизонтов печи, то здесь происходит некоторое его снижение. Увеличение общего перепада в печи, в основном, происходит вследствие роста соотношения железорудных материалов к коксу ( $\approx 50\%$  ЖРЧ и  $50\%$  кокса), что также приводит к увеличению рудной нагрузки. Усиление низкотемпературного распада рудной шихты в верхних горизонтах и плохое газораспределение также влияют на показатель  $R$  (увеличивают) [8].

На газодинамику (в частности, допустимое значение перепада давления), оказывают влияние следующие факторы: наличие и распределение мелочи в

столбе; качество железорудной части и скипового кокса (теплоноситель, разрыхлитель и восстановитель); шлаковый режим; давление под колошником. Вышеописанные факторы играют важную роль в формировании показателя  $P_{общ}$  в столбе шихты.



1-общий; 2 – верхний; 3 – средний; 4 – нижний

Рисунок 1.3 – Перепад давления при различных расходах кокса

Улучшение вышеуказанных факторов позволяет вести доменную плавку на предельно допустимом уровне перепада давления в столбе, с минимальным риском возникновения «подвисания» шихты.

Особое значение газодинамика приобретает в нижней части печи (запечи, горн), поскольку порозность коксовой насадки образует цилиндрические каналы, по которым одновременно проходят горновые газы и стекают жидкие продукты плавки (чугун и шлак).

Качество кокса, количество шлака и его свойства, имеют определяющее значение для дренажной способности коксовой насадки и нормального хода плавки, что прямолинейно влияет на формирование общей газодинамики печи.

*Повышение качества железорудных материалов и их предварительная подготовка.* Основные направления улучшения железорудной части (ЖРЧ):

повышение содержания в ней Fe; повышение прочности агломерата и окатышей; офлюсование агломерата и окатышей; отсев мелочи; работа с постоянным средним химическим составом ЖРЧ; применение металлодобавок ( $Fe \approx 72-74\%$ ); металлизация шихты и т.п.

Так, повышение содержания Fe во всей шихте (без кокса и  $CO_2$  флюса) на 1 % приводит к следующему эффекту: снижение расхода кокса и повышение производительности агрегата на 1-1,4% и 1,7-2,4% соответственно (в пределах 50-60 % Fe) [9, 10].

Выход шлака имеет прямую обратную зависимость от содержания Fe в ЖРЧ, доказательством чего следует нижеописанная формула:

$$Ш = 100 \frac{Fe_{\text{ч}}}{(\% Fe)^2}, \quad (1.5)$$

где Шп - уменьшение количества выхода шлака, кг/т чугуна;  
Fe<sub>ч</sub> - количество железа в чугуне, кг/т чугуна;  
Fe - среднее содержание железа в шихте, %.

Так, если Fe<sub>ч</sub> = 940 кг/т чугуна, то Ш будет равно 37,6, 31 и 26 кг/т при содержании железа Fe, равном 50, 55 и 60% соответственно [11].

При содержании Fe в ЖРЧ на уровне 50%, изменение его содержания на 1 % к приводит к изменению выхода шлака в 1,4 раза больше, чем если бы Fe был на уровне 60 %. Поэтому, повышение содержания Fe в агломерате является более значимым мероприятием, чем повышение доли Fe в окатышах [11].

Согласно И. Г. Товаровскому, использование чистых металлодобавок (100% Fe) дает экономию кокса в количестве 0,6%, а производительность растет на 0,8 %; в случае использования загрязненных металлодобавок эффективность применения пропорциональна содержанию железа [11].

Согласно другому источнику, применение чистых металлодобавок ( $Fe \approx 100\%$ ), на 10 кг/т чугуна, дает снижение расхода кокса на 0,4% и рост производительности печи на 0,6% [10-12].

Предварительное грохочение ЖРЧ, с высевом фракции  $\leq 5$ , снижает приход в ДП мелочи с шихтой, что приводит к снижению расхода кокса и



производительности агрегата на 0,5% и 1% соответственно (на каждый выделенный процент мелочи из шихты) [13].

Степень офлюсования ЖРЧ влияет на расход кокса и производительность посредством прихода Fe и сырого флюса. Офлюсование агломерата позволяет убрать сырой известняк из состава шихты; в свою очередь, снижение расхода сырого известняка в количестве 10 кг/т дает снижение расхода кокса на 0,5% и рост производительности на 0,5% (доломитизированный известняк – 0,4% и 0,4% соответственно) [11, 12].

Применение агломерата и окатышей с низкими прочностными свойствами приводит к увеличению содержания мелочи в «сухой зоне»; а поскольку доля кокса и ЖРЧ приблизительно равны, снижение порозности слоя из-за избытка мелочи негативно влияет на газодинамику. Решением является получение агломерата и окатышей с лучшими прочностными характеристиками (особенно значима горячая прочность агломерата).

Повышение прочностных характеристик агломерата и окатышей осуществляется, в основном, за счет снижения доли гематита в готовом продукте (происходит разрушение материала вдоль зерен  $Fe_2O_3$ ).

Снижение доли гематита в готовой продукции осуществляется за счет:

- предварительного охлаждения агломерата в среде восстановительных газов;
- вторичной термообработки агломерата в среде газовой смеси  $N_2$  и  $O_2$ ;
- получения зерен глобулярного гематита вместо зерен ромбоэдрального.

Охлаждение агломерата в среде восстановительных газов исключает образование  $Fe_2O_3$ , однако является дорогостоящей технологией.

Обработка агломерата в среде  $N_2$  ( $t_{\text{газа}}=1300-1350^{\circ}C$ ) показала наилучший результат: 3-х кратное снижение содержания  $Fe_2O_3$ ; снижение количества фракций 5 мм и 3 мм приблизительно в 5-6 раз; для частиц 5 мм

измельчаемость снизилась с 52,3% до 32%. Подобная технология уместна и при изготовлении окатышей повышенного качества [16].

Охлаждение окатышей со скоростью  $\approx 450$  °С/мин. преобразует нерудную часть (в основном,  $\text{SiO}_2$ ) в высокопрочное стекло; прочностные характеристики получаемых окатышей возрастают в 1,2-1,5 раз [16].

Металлизация ЖРЧ ( $\uparrow \text{Fe}_{\text{мет}}$  к  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  в шихте) позволяет использовать более подготовленный к доменной плавке материал. Металлизация шихты на 10% снижает расход кокса на 6,8-7,4% и повышает производительность на 4,5-10%; при степени металлизации шихты на уровне 50-60%, каждые 10% металлизации дают снижение расхода кокса на 5% и повышают производительность на 6-7% [17].

*Опыт применения качественной железорудной части на иностранных предприятиях.* За период 1998 г., в странах Западной Европы были получены следующие результаты: подготовка ЖРЧ ( $\approx 98\%$  агломерата и окатышей, доля окатышей = 20-40%) дала удельную производительность 73-78 т/( $\text{м}^2 \cdot \text{сутки}$ ); подготовка ЖРЧ ( $\approx 90$ -97% агломерата и окатышей, доля окатышей = 0-100%) дала удельную производительность в 70-71 т/( $\text{м}^2 \cdot \text{сутки}$ ); подготовка ЖРЧ ( $\approx 97$ -99% агломерата и окатышей, доля окатышей = 60-100%) позволила снизить расход скипового кокса до 285-320 кг/т чугуна. Подготовка ЖРЧ представлена следующим – отсев фракций 4 или 5 мм; содержание фракции  $\geq 40$  мм в агломерате регулируется на уровне  $\leq 10\%$  [18, 19].

Фирмой Rautaruukki, (Финляндия) была предпринята попытка повысить содержание Fe путем ввода в аглошихту дополнительных порций крупнозернистой гематитовой аглоруды ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). В результате – снижение горячей прочности агломерата; снижение выхода фракции 25-40 мм. В опытной плавке был получен перерасход кокса и возросли теплотери с колошниковым газом [19].

Компанией Companhia Siderurgica Nacional (Волта-Редонда, Бразилия) с 1996 по 1999 г. было осуществлено технологическое совершенствование процесса спекания агломерата (лучшее усреднение и дозирование); в результате

– снижение стандартного отклонения основности с 0,15 до 0,08, позволившее снизить отклонения по [Si] и [S] до 0,12-0,4% и 0,005-0,007% соответственно. Характеристики:  $B = 1,7 \quad 2,1$ ;  $Fe_{\text{аглоруды}} \approx 64 \quad 67\%$  [19].

В 1997 г. фирмой LКАВ (Лулео, Швеция), с целью оценки влияния качества ЖРЧ на показатели плавки, была построена опытная доменная печь, с возможностью вдувания ПУТ. Производительность составила 3,66-4,88 т/(м<sup>3</sup>·сутки), или 30-40 т/сутки [19].

В докладе А. Dahlsted [и др.] приведены данные по исследованиям их группы. Плавка в ДП велась на агломерате фракцией 6-40 мм и окатышах; применяли около 20-ти видов окатышей ( $B = 0,1 \quad 1,0\%$ ,  $Fe \approx 66 \quad 68\%$ ). Доля окатышей составляла от 20 до 60%; отдельная плавка была проведена на 100% окатышей. Расход ПУТ составлял 150 кг/т чугуна, суммарный расход топлива – 512-540 кг/т чугуна. Была выявлена некоторая зависимость между составом жидкой фазы окатышей и ходом плавки [19].

*Влияние шлакового режима на газопроницаемость нижней части печи.* Определенное значение для газодинамики в нижней части печи (горн и заплечики), а также, для теплового баланса печи, играет количество шлака и его свойства.

В связи с тем, что плотность шлака, по сравнению с чугуном, значительно ниже, шлак в большей мере заполняет каналы, образованные порозностью коксовой насадки. В связи с этим, истечение газов по каналам затрудняется, что негативно сказывается на газодинамике столба шихты и нормальном ходе доменной плавки.

Улучшение газодинамики возможно за счет снижения количества шлака и изменения его свойств. Этого можно достичь за счет:

- повышения прихода Fe с ЖРЧ;
- снижения прихода S с шихтой (в основном, со скиповым коксом);
- использовать ПУТ с более низким содержанием S, чем в коксе;
- в случае снижения прихода S с шихтой, снизить расход сырого известняка к минимуму, или полностью убрать из состава шихты;

– снизить зону шлакообразования за счет применения более однородных компонентов;

– вести доменную плавку на кислом шлаке ( $B \leq 1,0$ ), с последующей десульфурацией чугуна вне доменного цеха.

Основа мероприятия – снизить приход  $S$  с шихтой, и, как следствие, убрать основной шлакообразующий элемент – сырой известняк. Применение ПУТ нужной кондиции снижает расход кокса и приход с ним  $S$ .

Кислый (легкоплавкий) шлак имеет меньшую вязкость, большую скорость истечения, а потому, оказывает меньшее негативное влияние на газопроницаемость в горне. Недостаток – охлаждает горн, чугун менее «нагрет»; перерасход кокса на нагрев горна. Основной (тугоплавкий) шлак оказывает большее негативное воздействие на газодинамику; однако, работа на таком шлаке позволяет повысить температуру в горне, получить более «нагретый» чугун, с повышенным содержанием  $Si$  [20].

*Исследования влияния шлакового режима на газодинамику.* Исследование по влиянию содержания  $Fe$  в ЖРЧ и количества шлака на газодинамику и интенсивность плавки было проведено на ПАО «ДМК». Горн ДП составляет 8,4 м;  $Fe_{агд} = 55,8\%$ ; технический анализ кокса  $A_{CP} = 10,8\%$ ,  $S = 0,75\%$ ; расход ПУТ – 149 кг/т чугуна [21].

Были приняты критерий газопроницаемости столба шихты и интенсивность плавки (формулы 1.6 и 1.7):

$$\frac{Q_d}{P}, \quad (1.6)$$

$$J_{\Sigma C} = \frac{C_E^{СУТ}}{S_{\Gamma}}, \quad (1.7)$$

где  $Q_d$  - расход дутья на 1 м<sup>2</sup> площади горна, нм<sup>3</sup>/с·м<sup>2</sup>;

$P$  - общий перепад давления печи, ат.;

$J_{\Sigma C}$  - интенсивность плавки, т/м<sup>2</sup>·сутки;

$C_E^{СУТ}$  - суммарный расход кокса и ПУТ, т;

$S_{Г}$  - площадь горна, м<sup>2</sup>.

В работе [21] было выявлено, что снижение выхода шлака снизило интенсивность плавки; изменение расхода кокса имел такой же знак, что и выход шлака и интенсивность. Теснота связи показателей расхода топлива – выхода шлака и расход топлива – интенсивность имеет следующий вид:

$$PT = f(Q_{и}), R^2 = 0,351, \quad (1.8)$$

$$PT = f(J_{\Sigma C}), R^2 = 0,366. \quad (1.9)$$

Снижение выхода шлака на 10 кг/т чугуна увеличивает рудную нагрузку на 0,039 ед., а индекс газопроницаемости снизился на 0,005 ед. (рудная нагрузка возросла на 1,8 %, а газопроницаемость ухудшилась на 0,8 %). Снижение выхода шлака при увеличении содержания Fe в ЖРЧ увеличивает рудную нагрузку и снижает интенсивности плавки и газопроницаемость, что позволяет вести более экономичную плавку [21].

*Применение металлургического кокса с лучшими показателями и предварительной подготовкой.* В нижней части печи (горн, заплечики) кокс образует насадку и выполняет следующие функции: дренаж жидких продуктов плавки, восстановление элементов, теплоноситель. В насадке происходит истечение газов одновременно с дренажом чугуна и шлака; а потому, к насадке и коксу в частности предъявляют повышенные требования. В этой зоне на кокс оказывают влияние: рудная нагрузка, высокие температуры, горновые газы.

Коксовая насадка способна выполнять свои функции в случае, если кокс обладает допустимым средним размером куска, сохраняет свои размеры под действием горновых газов (в частности, CO<sub>2</sub>) и рудной нагрузки.

Оставаясь единственным твердым материалом после зоны когезии, кокс сохраняет свой гранулометрический состав и порозность, противостоя вышеописанным действиям, в том случае, если обладает высокими

прочностными характеристиками ( $CSR$ ,  $M_{40}$ ,  $M_{25}$ ,  $M_{10}$ ) и способностью противостоять химико-температурным воздействиям ( $CRI$ ).

Повышение показателей горячей и холодной прочностей, а также реакционной способности, достижимо за счет:

- применения в коксовании коксующихся марок углей («К» и «Ж»), благоприятно влияющих на технический анализ будущего продукта; составление оптимальной пропорции, позволяющей получить качественный продукт по показателям дробимости ( $M_{40}$ ,  $M_{25}$ ), истираемости ( $M_{10}$ ), горячей прочности ( $CSR$ ) и реакционной способности ( $CRI$ );

- применение сухого тушения кокса взамен мокрого;
- стабилизация скипового кокса реализацией кусков по трещинам;
- грохочение и додрабливание фракции  $\geq 80$  мм; приемлемым считается содержание фракции в скиповом коксе на уровне 5% и менее;

- применение грохота с размером ячеек нижнего сита 32-40 мм; отсев кокса фракций 32 мм позволяет снизить приход мелочи с шихтой;

- рассев кокса фракцией 32-40 мм с получением мелкофракционного кокса фракцией 10(25)-40 мм (коксового орешка) и побочной мелочи;

- загрузка коксового орешка с железорудной частью в доменную печь; в верхней части шахты коксовый орешек выполняет роль восстановителя и разрыхлителя железорудной части.

Вышеописанные мероприятия позволяют решить сразу несколько задач:

- за счет отсева крупных фракций  $\geq 80$  мм и мелочи 32 мм возрастает однородность скипового кокса по фракции 40-80 мм;

- при снижении фракции кокса  $\geq 80$  мм – наименее прочной фракции среди прочих – происходит снижение прихода и образования коксовой мелочи в доменной печи;

- стабилизация кокса путем реализации его по трещинам позволяет повысить механические показатели дробимости  $M_{40}$ ,  $M_{25}$  и истираемости  $M_{10}$ ;

– применение коксового орешка фракцией 10(25)-40 мм совместно с железорудной частью позволяет: снизить потери металлургического кокса за счет уменьшения потерь при выделении из отсева кокса коксового орешка; снизить расход скипового кокса вследствие улучшения технологии; повысить газопроницаемость сухой зоны и зоны когезии; снизить рудную нагрузку;

– увеличение порозности коксовой насадки вследствие снижения содержания коксовой мелочи в шихте, как следствие – снижение вязкости шлака за счет меньшего контакта  $C_{\text{кокса}}$  и жидкоподвижного шлака, улучшение дренажной способности, снижение перепада давления в горне и улучшение газопроницаемости столба шихтовых материалов.

Как уже было описано выше, повышение качества кокса по фракционному составу и по показателям CSR и CRI позволяет улучшить газодинамику в столбе шихтовых материалов, что, в свою очередь, приводит к увеличению лимитирующего (допустимого) значения по вдуванию дополнительных видов топлива. Так, совместное применение ПУТ и кокса с высокими значениями по CSR и CRI позволяет повысить производительность печи на 1,5-2% и облегчить управление плавкой «снизу», что также способствует увеличению эффективности плавки [22].

*Варианты улучшения качества кокса.* В странах Европы, Америки и Азии расход ПУТ составляет 200-240 кг/т чугуна, расход кокса снижен до 280-300 кг/т; без применения ПГ и мазута. Показатели кокса по CSR  $\approx$  65-70%, для CRI составили  $\leq$ 30%.

Повышение качества кокса и создание условий для повышенного расхода ПУТ было достигнуто за счет внедрения следующих мероприятий:

- применение шихты для коксования с зольностью  $\leq$ 7,5%;
- применение качественной коксуемой шихты со стабильными показателями;
- применение качественной железорудной шихты со стабильными показателями;
- снижение в железорудной части доли мелочи  $\leq$ 5 мм.

Что касается повышенного расхода ПУТ:

- работа доменных печей на коксе с показателем  $CSR \geq 62\%$ ;
- применение ПУТ с содержанием золы и серы на уровне 6-8,5% и  $\leq 1,0\%$  соответственно;
- работа на ПУТ со стабильными показателями;
- повышение температуры дутья до 1200-1250 °С;
- увеличение доли  $O_2$  в дутье до 28-33%.

Внедрение таких мероприятий в этих странах позволило достигнуть высокого расхода ПУТ и его эффективности при замене кокса [23].

Улучшение технологии приготовления кокса посредством его охлаждения в камере-накопителе УСТК, по сравнению с мокрым тушением, приводит к следующим результатам:

- рост показателя  $M_{25}$  до 89%;
- снижение показателя  $M_{10}$  до 8,0% и менее;
- повышение производительности установки на 4%;
- возможность применения и повышения доли в шихте марок угля «СС» без ухудшения качества кокса;
- утилизация отходящего от кокса тепла ( $\approx 50\%$  от израсходованного на коксование) путем преобразования в электроэнергию;
- снижение вредных выбросов в атмосферу.

Применение кокса, прошедшего УСТК, позволяет снизить расход кокса в доменной печи и повысить её производительность [24].

Трамбовка шихты позволяет получать кокс лучшего качества. Увеличение доли углей марки «СС» ( $\leq 40\%$ ) не влияет на качество получаемого продукта, а его цена – значительно снижается. Трамбовка осуществляется вне коксовой печи – в печь загружают уже готовые брикеты ( $\rho = 1,15 \text{ т/м}^3$ ,  $W \leq 10\%$ ,  $V_{\text{брикета}} \approx V_{\text{камеры печи}}$ ). Применяется помол коксуемой шихты (размер фракции 3 мм на уровне 90-92%). Рекомендуемый расход газовых углей – не более 60% [25].



При трамбовке коксующей шихты получается продукт с изменением следующих характеристик:

- рост показателя  $M_{25} \geq 90\%$ ;
- снижение показателя  $M_{10} \leq 7\%$ ;
- улучшение по показателям CSR ( $\geq 65\%$ ) и CRI ( $\geq 30\%$ )

Применение трамбованного кокса приводит к следующим изменениям:

- увеличение выхода кокса на 4%;
- повышение расхода ПУТ за счет применения более качественного кокса.

Мероприятие перспективно; оно позволяет замещать коксующие марки углей «К» и «Ж» распространенной «Г», без ухудшения качества кокса.

В работе [11, 26] присутствует анализ влияния технологических факторов кокса на его расход и производительность ДП. Повышение прочности кокса по показателю  $M_{25}$  на 1% дает снижение расхода кокса на 0,6% и рост производительности на 0,6%; для показателя CSR – эффект аналогичен, 0,7% и 0,7% соответственно. Снижение прихода фракции 80 мм на 1% дает снижение расхода кокса на 0,2% и рост производительности на 0,2%; улучшение показателя  $M_{10}$  – эффект аналогичен, снижение расхода кокса на 2,8% и рост производительности на 2,8%.

*Опыт применения кокса повышенного качества на предприятиях мира.* С 1986 по 1998 г. Европейским комитетом по доменному производству был выполнен анализ изменений основных показателей плавки и расхода кокса. Повышение качества кокса по показателям CSR,  $M_{40}$  и CRI, дало следующий результат: снизился расход топлива с 497 до 483 кг/т чугуна; (расход кокса упал с 462 до 362 кг/т чугуна); возросла доля ПУТ в топливе; удельная производительность возросла с 1,9 до 2,47 т/( $m^3 \cdot$ сутки). В таблице 1.1 приведены показатели технического анализа кокса [18].

Исследователями фирмы Kobe Steel (Какогава, Япония) было выявлено, что кокс, обладающий более высокими показателями  $M_{40}$  и CRI, меньше истирается за счет лишь только наружного контакта  $C_{\text{кокса}}$  и газа  $CO_2$  в зоне

когезии. Как следствие – в тотермане скапливаются меньше коксовой мелочи, газопроницаемость растет [27].

Таблица 1.1 – Технический анализ кокса по предприятиям мира

Страна, фирма, завод	Показатели					
	A <sup>s</sup>	S	CSR	CRI	M <sub>40</sub>	M <sub>10</sub>
Китай, «Baosteel»	11,15	0,52	70,43	24,10	89,5	5,5
Южная Корея, «POSCO», Кван'ян	11,02	0,53	68,32	-	-	-
Япония, «Nippon Steel»	11,63	0,53	62,80	27,0	-	-
Великобритания, «Radcar»	10,10	0,60	67,00	24,0	87,1	6,2
США, «Sun Coal»	7,20	0,74	63,50	25,5	-	-
Италия, «Iva», Таранто	9,37	0,60	66,55	28,15	86,2	6,2
Нидерланды, «Hoogovens»	9,70	0,64	61,80	-	87,8	5,8
Тайвань, «China Steel»	10,79	0,49	68,85	20,26	85,5	6,4
Германия, «Thyssen Krupp Stahl»	9,20	0,59	67,20	22,6	83,3	7,2

За период с 1995 по 1999 г. фирмой Thyssen Krupp Stahl (Германия), на доменной печи №1 в Швельгерне были проведены опытные плавки на коксе повышенного качества; было выявлено влияние показателя CSR на расход топлива, образование мелочи, индекс газопроницаемости заплечиков. Повышение показателя CSR с 52 до 64% позволило: снизить долю мелочи в фурменной, промежуточной зоне и тотермане; увеличить [C] и физическое тепло чугуна; увеличить расход вдуваемого ПУТ [28].

Фирмой Sollac (Франция) выявлено, что повышение показателя CSR с 55 до 63% способствует уменьшению изменения среднего куска кокса от колошника до уровня фурм с 26-28 до 14 мм [19].

Фирмой Rautaruukki (Финляндия), на ДП №2, проведена оценка влияния различных фракций кокса на производительность. Организована подготовка скипового кокса по фракционному составу путем снижения доли фракций 40-10 и 10 мм до значений 15-25 и 1-3% соответственно [19].

На ДП №7 фирмы Ispat Inland (США) было оценено влияние загрузки кокса, полученного по новой технологии в коксовых печах Jewell Thompson.

Сущность технологии – выдержка кокса в течение 48 часов, с дожиганием летучих над слоем кокса. Технический анализ приведен в таблице 1.2 [29].

Таблица 1.2 – Сравнение обычного кокса и кокса, полученного по новой технологии

Показатели, %	A <sup>C</sup>	S	W	CSR	Стабильность	Размер куска, мм
Новый	8,64	0,62	5,17	69,41	66,15	47,55
Обычный	7,77	0,71	4,69	62,05	61,40	46,48

Расход шихты в печь, кг/т чугуна: кокса – 320; орешка – 20; ПУТ - 160; ПГ – 2,3 м<sup>3</sup>/т; ЖРЧ – 1596 (≈87% окатышей). Температура дутья – 1199 °С; содержание O<sub>2</sub><sub>дутья</sub> ≈ 25,1%. Производительность – 2,6 т/(м<sup>3</sup>·сутки) [29].

Фирмой Companhia Siderurgica Nacional (Бразилия) была проведена перешихтовка спекаемых углей для кокса. Реализация данного мероприятия позволила увеличить показатель CSR с 66,7 до 67,5%. Был получен следующий эффект: увеличение среднего размера куска кокса с 49,4 до 59,8 мм (однако, возросла A<sup>C</sup> с 9,5 до 11%) [19].

Результат использования такого кокса: расход ПУТ – 150 кг/т чугуна; расход топлива – 531,8 кг/т чугуна; производительность - 3 т/(м<sup>3</sup>·сутки). Расход ПУТ ≥150 кг/т чугуна лимитирован содержанием O<sub>2</sub> в дутье [19].

На предприятии ОАО «ММК» осуществлено производство металлургического кокса в коксовых батареях (КБ) №3-4 (мокрое тушение) и №9 (УСТК). Полученные данные приведены в таблице 1.3 [25].

Таблица 1.3 – Показатели технического анализа кокса из КБ №3-4 и №9

Параметры, %	A <sup>C</sup>	S	W	C	CSR	CRI	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	≥80 мм
КБ №3-4	12,7	0,45	3,8	83,0	49,5	33,3	87,6	8,6	23,3
КБ №9	12,6	0,41	0,3	82,9	52,2	31,6	89,2	8,0	19,2

Как видно из таблицы 1.3, кокс из КБ №9 обладает лучшими показателями. В перспективе, на предприятии будет внедрена трамбовка угольной шихты.

Предварительная трамбовка коксуемой шихты на заводе *TATA Steel* позволила получить кокс с лучшими показателями по CSR и M<sub>10</sub> [30].

Применение технологии трамбовки шихты было внедрено на заводе «Алчевсккокс», на КБ №9-бис и №10-бис (на КБ №10-бис – трамбовка и сухое тушение кокса) [31]. Полученные результаты содержатся в таблице 1.4. В таблице 1.5 приведен технический анализ кокса, получаемый с применением различных технологий

Таблица 1.4 – Технический анализ кокса с КБ №9-бис и №10-бис

Показатель, %	A <sup>C</sup>	S	W	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>
КБ №9-бис	11,3	1,0	3,9	89,7	4,6
КБ №10-бис	11,3	1,0	0,3	91,7	4,1

Таблица 1.5 – Сравнение технического анализа кокса при задействовании различных технологий

Показатели, %	W	CSR	CRI	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>
Нижний подвод + мокрое тушение	4,0	49,5	33,3	87,0	8,6
Нижний подвод + сухое тушение	0,3	52,2	36,1	89,0	8,0
Трамбовка коксуемой шихты	4,0	≥62	30	92,0	7,0
Трамбовка шихты + сухое тушение*	0,3	≥62	30	93,5	6,5

\* - предполагаемый состав шихты для этой технологии: спекающиеся - 45%; коксующиеся – 21,6%; отощающие – 33,4%.

Как видно из таблиц 1.4 и 1.5, применение предварительной трамбовки угольной шихты и сухое тушение значительно повышают качество кокса, что позволит увеличить расход ПУТ без осложнения хода печи.

*Применение коксового орешка на предприятиях мира.* Технология применения коксового орешка получила широкое распространение в мире, поскольку позволяет решить сразу несколько вопросов: снижение потерь

металлургического кокса при грохочении; разрыхление рудной линзы и улучшение её газопроницаемости; дополнительное восстановление оксидов железа в шахте печи и т.п.

Впервые загрузку коксового орешка в смеси с железорудной частью опробовали на Днепропетровском заводе им. Петровского, в 1967 году. Коксовый орешек в количестве 93-97 кг/т чугуна (16,3-17,6% от расхода кокса) фракцией 10-40 мм загрузили с агломератом. Результатом стало снижение удельного расхода топлива (кокс + орешек) на 10,6-58,8 кг/т чугуна (1,82-9,86%) [32].

Загрузка коксового орешка в ДП ( $V_{\text{пол}} = 608 \text{ м}^3$ ), выплавлявшей ферромарганец, (завод им. Дзержинского, 1970 г.) фракцией 25-40 мм, в количестве 30% от расхода кокса, позволила снизить расход кокса на 70-168 кг/т чугуна (3,4-8,1%) и повысить производительность на 6-8,4% [33].

Научно-исследовательской группой профессора В. И. Логинова проводилось изучение влияния смешивания кокса (коксового орешка) и железорудной части на ход доменной плавки. Были сделаны следующие выводы: 1) в отличие от послойной укладки, смешивание агломерата и кокса снижает газодинамическое сопротивление шихты на 12-25%; смешивание с окатышами даёт рост сопротивления на 10%; 2) смешивание агломерата и кокса (по сравнению с послойным расположением) увеличивает насыпную плотность шихты на 10%, снижает объем шихты на 8-15%, увеличивает использование СО на 1-3%, увеличивает нагрев горна (рост [Si]); 3) загрузка агломерата в смеси с коксом (орешком) даёт снижение расхода на 4-8% и увеличивает производительность на 1,5-4% [34-36].

Японские исследователи провели опытные плавки, загружая коксовый орешек фракцией 7-20 мм в количестве 11-15 кг/т чугуна, в железорудную часть. В результате: увеличение среднего размера куска кокса в фурменной зоне; уменьшение газификации кокса; увеличение газопроницаемости зоны когезии; увеличение степени использования газа СО за счет газификации коксового орешка в шахте и предварительного восстановления FeO [36].

В странах Западной Европы вдувание ПУТ осуществлено с загрузкой в железорудную часть коксового орешка фракцией 10-35 мм, в количестве 20-100 кг/т чугуна. Распространена загрузка коксового орешка фракцией 10-35 мм, в количестве  $\geq 100$  кг/т чугуна, в смеси с железорудной частью [36].

Исследователями было установлено, что ввод первых порций коксового орешка в количестве 20-30% от расхода кокса улучшает газопроницаемость на 11,5-13,5% [37].

На заводе в Порт Кембла («BHP Steel», Австралия) была освоена технология высева из отсева кокса (фракция  $\leq 32$  мм) коксового орешка фракцией 10-32 мм, с последующей его загрузкой в смеси с железорудной частью. Позже, в железорудную часть начали загружать коксовый орешек фракцией 10-25 мм, в количестве 45 кг/т чугуна [38].

На заводе «POSKO» (Южная Корея) была внедрена технология дифференцированной загрузки коксового орешка и руды мелких фракций в зону гребня шихты. Произошла интенсификация плавки за счет дополнительного восстановления оксидов железа в шахте печи [38, 39].

На Магнитогорском металлургическом комбинате были осуществлены опытные плавки с загрузкой коксового орешка в смеси с окатышами или агломератом. При расходе коксового орешка в количестве 6 кг/т чугуна, коэффициент замены кокса коксовым орешком составил 0,83 кг/кг [40].

Внедрение технологии загрузки коксового орешка было осуществлено на доменной печи полезным объемом 5580 м<sup>3</sup> (ОАО «Северсталь»). Коксовый орешек загружали в кольцевую зону, содержащую железорудную часть. Среднемесячный расход коксового орешка составил 14-17 кг/т чугуна, а коэффициент замены кокса орешком составил 0,88-0,93 кг/кг [33].

Осуществлено внедрение технологии загрузки коксового орешка на ЗСМК. Загрузка коксового орешка фракцией 25-36 мм, в количестве до 30% от суммарного расхода кокса и орешка, привела к следующему: вследствие высокого содержания мелочи (10 мм) в коксовом орешке произошло ухудшение дренажной способности коксовой насадки; выявлено увеличение

расхода кокса на 0,17-0,19% и снижение производительности на 0,2-0,4% на каждый загруженный процент кокса мелких фракций [32].

На предприятии ОАО «Макеевский металлургический комбинат» освоение технологии загрузки коксового орешка дало следующий результат: при среднемесечном потреблении орешка в количестве 12-24 кг/т чугуна, коэффициент замены кокса орехом составил  $\geq 1$  кг/кг; производительность агрегата при загрузке орешка не претерпела изменений [41].

Применение коксового орешка в количестве до 140 кг/т чугуна при выплавке литейного чугуна на доменной печи №2 ( $V_{\text{пол}} = 394 \text{ м}^3$ ) (ОАО «Константиновский металлургический завод»), позволило повысить суточную производительность доменной печи на 4,95% (15,9 т). При этом коэффициент замены кокса орешком был в пределах 1,0-1,2 кг/кг [41].

Загрузка коксового орешка в количестве 27 кг/т чугуна на доменных печах ОАО «Донецкий металлургический завод» привела к снижению удельного расхода скипового кокса с 463 до 455 кг/т чугуна (экономия 8 кг/т чугуна, или 1,7%). Среднее значение коэффициента замены кокса орешком было на уровне  $\approx 1$  кг/кг [41,42].

Применение кокса «Премиум» (лучшие показатели  $M_{40}$ ,  $M_{25}$ , CSR), его предварительная подготовка по фракционному составу и увеличение расхода ПУТ до 150 кг/т чугуна, позволили снизить расход металлургического кокса с 505 до 482 кг/т чугуна; увеличить степень использования металлургического кокса с 93,7 до 94,4%. Суммарная экономия металлургического кокса составила 21 кг/т чугуна или 4,5% [41,42].

*Работа доменных печей с повышенным давлением под колошником.* Еще одним фактором, улучшающим газодинамику столба шихтовых материалов, является повышение давления газа под колошником. Однако, в связи с негативным воздействием повышенного давления на срок службы загрузочного устройства, такое мероприятие осуществимо на доменных печах, приспособленных для работы с давлением газа под колошником вплоть до 250-350 кПа [43].

Повышение давления газа под колошником способствует снижению скорости истечения газа сквозь столб шихты в связи с введением дополнительного сопротивления на пути газа. Возрастающее при этом давление не только под колошником, но и во всем столбе шихты, снижает общий перепад давления  $P$ . Вследствие снижения показателя  $P$ , возникает необходимость повысить давление дутья в фурменную зону, не изменяя его расход. Увеличение давления влечет за собой снижение количества горновых газов, что, в свою очередь, снижает скорость движения газов и перепад давления между горном и колошником (1.9):

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{T_0 P_1}{T_1 P_0}, \quad (1.9)$$

где  $T_0, T_1$  - температура дутья, К;

$P_1, P_0$  - давление газов, кПа.

Увеличение давления газа под колошником влечет к увеличению нагрева горна, и, как следствие, выход более нагретого чугуна и шлака; десульфурация чугуна может незначительно ухудшиться или остаться без изменений; снижение скорости газов увеличивает степень косвенного восстановления, что влечет за собой снижение расхода кокса. Было отмечено значительное снижение выноса пыли с колошниковым газом [43].

*Опыт работ доменных печей с повышенным давлением под колошником.* В работе [44] оценено влияние повышенного давления под колошником на газодинамику печи. При  $P_{\text{кол}}$  в 110 кПа,  $P_{\text{общ}}$  составил 120 кПа, что является лимитирующим значением при работе с параметрами дутья; повышение  $P_{\text{кол}}$  со 110 кПа до 250 кПа позволило снизить  $P_{\text{общ}}$  со 120 кПа до 70 кПа.

В работе [45] описано проведение опытов по влиянию повышенного давления под колошником на расход кокса и производительность на 23 доменных печах (6 предприятий), в том числе: ОАО «МК «Запорожсталь», ОАО «МК «Азовсталь», ОАО «МК «Криворожсталь», ОАО «МЗ им. Ильича», ОАО «Череповецкий МК» и «Новолипецкий МК».



Снижение расхода кокса происходит за счет более длительного контакта газа и шихты (увеличивается степень тепловой и химической работы газа). Зависимость расхода кокса ( $y$ ) от давления газа под колошником ( $x$ ), а также, зависимость производительности доменной печи ( $y$ ) от давления газа под колошником ( $x$ ), представлена в формулах (1.10) и (1.11):

$$y = 0,003x^2 - 0,595x + 685,1; \quad R^2 = 0,744; \quad (1.10)$$

$$y = 0,044x^2 + 7,596x + 310,6; \quad R^2 = 0,739. \quad (1.11)$$

Повышение давления на каждые 10 кПа, в промежутке от 100 до 200 кПа, дает снижение расхода кокса на 0,2 % и рост производительности печи на 1,0 % [46].

#### 1.4 Заключение и постановка задачи

1) За 2018 год в мире было произведено 1,239 млрд. тонн чугуна и 1,809 млрд. тонн стали, что больше показателей 2017 года на 5,52% и 4,6% соответственно. Крупнейшие производители – Китай, Япония, и т.д.

2) В связи с дороговизной кокса и конкуренцией на мировом рынке, на предприятиях внедряются мероприятия, способствующие к переходу на малококсовую технологию и оптимизирующие расход ЖРЧ. Широкое распространение получили: повышение температуры дутья, вдувание ПГ и ПУТ (в большей степени), однако, их увеличение лимитировано состоянием газодинамики столба шихтовых материалов в печи.

3) Состояние газодинамики доменной печи оказывает лимитирующее значение при вдувании дополнительных видов топлива (заменителей кокса) и увеличении температуры дутья; нарушение газодинамики посредством увеличения значения допустимого перепада давления вызывает подвисяние шихты и влечет нарушение хода плавки.

4) Мероприятия, позволяющие улучшить газодинамику столба шихты: подготовка ЖРЧ и металлургического кокса по фракционному составу;

повышение давления под колошником; снижение выхода шлака за счет вывода сырого известняка из состава шихты.

5) Применение качественной шихты, наряду с её предварительной подготовкой, и, как следствие – снижение выхода шлака и снижение содержания мелочи в слое, позволяют улучшить газодинамику всего столба шихты. Появляется возможность увеличить расход дополнительных видов топлива, а также увеличить температуру дутья, без нарушения хода плавки.

## 2 История и современное состояние Енакиевского металлургического завода

Енакиевский металлургический завод был основан 2 июня 1895 года при утверждении Российской империей устава Русско-бельгийского металлургического общества. Основателями завода стали Фёдор Енакиев, Болеслав Яловецкий, Октав Неф-Орбан и Оскар Бие [47].

В 27 ноября 1897 г. была выдана первая продукция. К этому моменту в состав завода входило: две доменные печи, два конвертера, рельсопрокатное производство, 120 коксовых батарей и две угольные шахты. А спустя 2 года, в 1899 г. на предприятии работали 2,7 тыс. человек [47].

В 1913 г. завод выпустил 349,2 тыс.т. чугуна, 316,4 тыс.т. стали и 280,1 тыс.т. проката. К 1914 г. в состав завода входило следующее: 6 доменных и 7 мартеновских печей, 2 конвертера, 8 прокатных цехов, 4 угольные шахты и коксовый цех [47].

В период 1917-1922 г.г. завод практически не работал, но уже в 1925 году он был полностью восстановлен.

В 1931 г. была спроектирована, а позже, и введена в строй (строительство в течение 40 дней) первая советская разливочная машина. В 1938 г. была построена первая аглофабрика [47, 48].

В 1940 г. на ЕМЗ было выплавлено 877 тыс. тонн чугуна, 619 тыс. тонн стали, произведено 556 тыс. тонн проката [47, 48].

В период с 1941 по 1943 г. завод не функционировал. С 23 декабря 1943 была задута первая доменная печь, 31 декабря - вторая печь, в конце января – третья [47, 48].

В связи с приближающимся окончанием войны и необходимости страны в чугуне и стали, идет активное восстановление завода и наращивание его мощностей. Ниже приведены основные даты развития предприятия:

- 8 января 1944 г. – пущен станы Блюминг и «800»;
- 27 марта 1944 г. – ввод доменной печи №1;

- 18 сентября 1945 г. – ввод доменной печи №3;
- август-октябрь 1949 г. – ввод аглоленты №2, ввод ДП №2;
- 27 мая 1950 г. – пуск доменной печи №5;
- 16 сентября 1958 г. – ввод новой ДП №4 объемом 1083 м<sup>3</sup>;
- 20 октября 1960 г. – ввод новой ДП №3 объемом 1083 м<sup>3</sup>;
- 9 ноября 1962 г. – новый стан Блюминг «1100»;
- 30 декабря 1963 г. – ввод новой ДП №5 объемом 1083 м<sup>3</sup>;
- декабрь 1964 г. – пущен в эксплуатацию кислородный цех и выведен из эксплуатации стан «ДУО»;
- 1970 г. – ввод доменной печи №1 полезным объемом 1386 м<sup>3</sup>;
- 1977-1978 г. – реконструкция воздухонагревателей доменных печей №1 и №5;
- 1980 г. – впервые в СССР успешно освоена термоправка на стане «360» и введена в эксплуатацию 12 группа нагревательных колодцев;
- 1986 г. – выведен из эксплуатации мартеновский цех и стан «ТРИО»;
- 1992 г. – выполнен капитальный ремонт 1-го разряда на доменной печи №3;
- 1993 г. – установлена новая напольная машина для вскрытия чугунной летки на доменной печи №4;
- 1994 г. – капитальный ремонт 1-го разряда доменной печи №1. Введен в эксплуатацию пресс «САКМИ» в известково-огнеупорном цехе. Установлены электрофильтры для вращающихся печей фирмы «СПЕЙК» в известково-огнеупорном цехе.
- сентябрь 2002 г. – эксплуатация установки «печь-ковш»;
- 19 декабря 2002 г. – получена первая непрерывная заготовка на 6-ти ручьевой высокоскоростной сортовой МНЛЗ;
- 2004 г. – построена 2-я установка «печь-ковш» и МНЛЗ;
- 2005 г. – построен склад окатышей и кокса (СОК);

- 2007 г. – введена в эксплуатацию ДП №5 полезным объемом 1513 м<sup>3</sup>; кислородный блок и турбокомпрессорный агрегат;
- 2011 г. – ввод ДП №3 полезным объемом 1719 м<sup>3</sup>, с лотковым БЗУ фирмы Пауль Вюрт, с возможностью применения ПУТ.
- февраль 2015 г. – приостановлен выпуск чугуна на заводе;
- март 2015 г. – завод был снова запущен.

На сегодняшний день, ПАО «Енакиевский металлургический завод» является предприятием полного металлургического цикла. Основными видами изготавливаемой продукции на ЕМЗ являются: чугун товарный чушковый; непрерывно-литая заготовка; прокат для армирования железобетонных конструкций в прутках; фасонные профили; прокат средне- и мелкосортный; материалы для строительной и судостроительной индустрий [49].

Технологическая схема производства металлургической продукции выглядит следующим образом: на агломерационной фабрике происходит спекание сырья (аглолюда, концентрат, известняк) с топливом, в результате чего получается окускованный продукт – агломерат; в доменном цехе, посредством загрузки агломерата, окатышей, кокса и прочих добавок, происходит выплавка чугуна и шлака (побочного продукта); чугун направляют на разливочные машины чугуна, в конверторный и литейный цеха, а шлак – в отвал или на грануляцию. На рисунке 2.1 изображена часть металлургического цикла предприятия, а именно, технологическая схема доменного цеха ЕМЗ.

В конвертерном цехе, в трех 160-ти тонных конвертерах происходит передел чугуна в сталь. В дальнейшем, сталь поступает на следующие участки:

- установки «печь-ковш» (десульфурация), с последующей разливкой стали в непрерывно литую заготовку квадратного сечения на сортовых МНЛЗ №1,2;
- на разливочные площадки, для разливки в изложницы (слитки).

На предприятии производится непрерывно-литая заготовка следующих сечений, мм: 100x100; 120x120; 125x125; 130x130; 140x140; 150x150 из стали

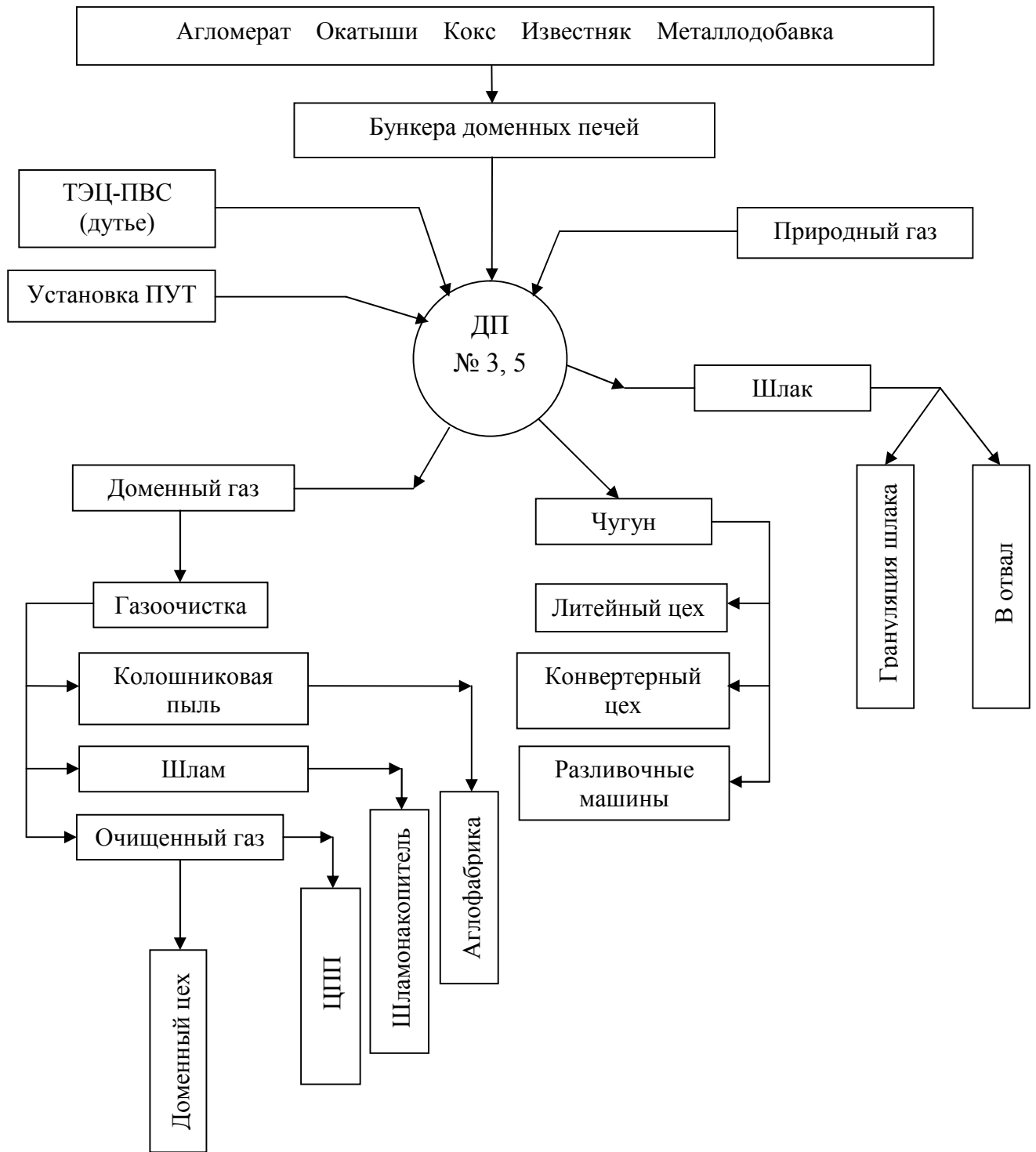


Рисунок 2.1 – Технологическая схема доменного цеха Енакиевского металлургического завода

марок GR40, GR60, SAE 1008, SAE 1010. Продукция поставляется следующими мерными длинами, мм: 6000; 9000-12000 [49].

Происходит транспортировка слитков в обжимной цех; затем, их подогревают в ячейках рекуперативных нагревательных колодцев, с отоплением из центра подины; топливом служит смесь доменного и природного газов.

На стане Блюминг «1250» осуществляется процесс прокатки слитков; после этого – прокатка на непрерывно-заготовочном стане. В результате получается катаная заготовка квадратного сечения. Непрерывно-литая и катаная заготовки отгружаются потребителям или перекачиваются на среднесортном стане «550» и мелкосортных станах «360», «280», «250» [49].

Особо стоит выделить продукцию проката Енакиевского металлургического завода, поскольку изделия – разнообразны и требуют отдельного рассмотрения и описания.

Сортовой и фасонный прокат. Сортовой и фасонный прокат ЕМЗ занимает значимую долю рынка металлопродукции Восточной Европы. Ассортимент представлен такими изделиями: круглый и арматурный прокат; уголки; швеллеры различных размеров; балки; специализированные профили для судостроения, строительства, машиностроения общего и транспортного, горнодобывающей отрасли [49, 50].

Арматурный прокат. Этот вид проката производится горячекатаным и термоупрочненным; классы проката – А400С, А500С. Для армирования железобетонных конструкций, на мелкосортном стане «280» производят периодические профили №10, 12, 14. Также, производится арматура в прутках длиной: 6000-12000 мм [49, 50].

Уголки стальные равно- и неравнополочные. Уголки данного типа производят из стали марок: Ст3ПС-СП; Ст5ПС-СП; 09Г2 и др.

На стане «360» производят изделия следующего вида: уголки равнополочные №4 и №5 (толщина полки – 4-5 мм и 4-6 мм соответственно);

уголки неравнополочные №6, на 3/4 (толщина полки – 5-8 мм). Длина порезки уголков – 4000-7500 мм [49, 50].

На стане «550» производят уголки равнополочные №9 и №10 (толщина полки – 7-9 мм и 7-12 мм соответственно). Длина порезки уголков составляет 4000-9000 мм [49, 50].

С 2016 г. начался выпуск уголков равнополочных размером 40x40x3 и 90x90x6 мм, по ГОСТ 8509-93. Назначение – изготовление опорных конструкций, опор линий электропередач, дверных проемов, в машиностроении [49, 50].

Также, был налажен выпуск уголков равнополочных шириной 110 мм и толщиной 7-8 мм, по ГОСТ 8509. Назначение – производство металлоконструкций [49, 50].

Полособульбовые профили. Из стали категорий А, А32, Д32, Д40, на стане «550» производят профили полособульбовые симметричные и несимметричные марок: №10, 12, 14а, 14б, 16а, 16б, 18а, 18б, 1235, 1446, 1455, 1646. Назначение профилей данного типа – судостроительная отрасль. Длина порезки профилей составляет 4000-9000 мм [49].

Двутавры и швеллеры стальные. Из стали марок Ст3ПС-СП, Ст5ПС-СП и др., на стане «550» производят: швеллеры П-образного сечения, с параллельными гранями полков (изделия №10П, №12П); швеллеры с отогнутой полкой для вагонеток (СП-10, СП-12). Длина порезки швеллеров – 4000-9000 мм [49].

Также, на стане «550» производят двутавры №10 и №12. Назначение изделий – крупнопанельное, гражданское и техническое строительство (перекрытия, металлоконструкции колонные, опоры и подвесные пути, мостовые сооружения) [49].

Рельсы железнодорожные узкоколейные. Предприятие выпускает рельсы железнодорожные узкой колеи, типа Р18. Назначение продукции – укладка на железных дорогах узкой колеи, укладка подземных путей в шахтах. Стоит



отметить, что изначальным видом продукции ЕМЗ, в момент его запуска, были именно такие изделия [49].

Профили для направляющих лифтов. Из стали марок 20, 30, по ГОСТ 1050-88, производят уникальный продукт – профили №3 и №3а для направляющих лифтов [49, 50].

Макеевский филиал «ЕМЗ». Помимо прокатного производства на Енакиевском металлургическом заводе, стоит выделить продукцию станов «390» и «150» макеевского филиала.

Непрерывный сортовой стан «390». Из рядовых и низколегированных марок стали изготавливают прокат арматурный №10-32 классов прочности А240С-А500С. На стане установлен регулятор количества прутков, что позволяет выполнить заказ с фиксированным количеством прутков в пачке. Назначение проката – изготовление свариваемых каркасов железобетонных конструкций в пачках, до 10 т [49].

Осуществлено изготовление проката круглого диаметром 10-60 мм обычной точности, в двух вариациях: из рядовых марок стали (изготовление буров); из высокоуглеродистых марок стали (изготовление мелющих шаров). Масса пачки – до 10 т [49].

Из рядовых марок стали, по ДСТУ 4484:2005 / ГОСТ 535-2006, осуществляется выпуск уголков равнополочных от 25х25х3..4 до 63х63х3..4 мм. В наличии – возможность укладки «елочкой» [49, 50].

В 2016 г. начался выпуск уголка размером 50х50х4 мм, по евростандарту EN 10025-2. Назначение – вагоностроение, тяжелое машиностроение, строительство. Импортёры – Словакия, Прибалтика, страны Юго-Восточной Европы [49, 50].

Макеевским филиалом ПАО «ЕМЗ» были получены сертификаты соответствия арматурного проката по требованиям таких документов, как ДСТУ3760-2006 и белорусского СТБ 1704-2006. Была проведена процедура сертификации арматурного проката А500С по таким документам, как: российские ГОСТ Р 52544-2006 и СТО АСЧМ 7-93 [49, 50].

Непрерывный проволочный стан «150». На стане «150» осуществлен выпуск катанки 5,5-12,5 мм, до 2 т обычной точности [49]. Ниже приведены разновидности катанки, в зависимости от их предназначения:

- катанка из рядовых марок стали Ст1-Ст3 (ГОСТ 30136-95); ASTM A510M-03 (сталь SAE 1006-1018). Назначение – перетяжка на проволоку и др.;
- катанка из высоко- и углеродистых марок стали SAE 1045-1080 (ГОСТ 1050-88, ASTM A510M-03). Назначение – перетяжка на проволоку для изготовления канатов;
- катанка из низкоуглеродистой и легированной стали марок Св-08, Св-08А, Св-08Г2С (ТУ У27.1-00190319-1280-2002). Назначение – сварочная проволока;
- катанка из стали повышенного качества (марки Св-07, Св-07А, Св-07Г1НМ, Св-07Г1НМА). Назначение – сварочная проволока по ТУ У 27.1-0019319-1314-2004;
- катанка сорбитизированная из стали марок 70крд, 75крд, 80крд, 85крд. Назначение – металлокорд по ТУ У 27.1-0019319-1327-2004.

Продукция сертифицирована по ГОСТ 30136095, ASTM A510M-03, DIN EN 10016-1,-2 [49].

Фирмой TUV THURINGEN, в марте 2010 г., была проведена сертификация системы менеджмента качества, в соответствии с требованиями ISO 9001. Сертификат соответствия выдан 07.04.2010 г. [49].

К 2013 году ПАО «ЕМЗ» осуществлял выпуск более 50-ти видов металлопродукции, высокое качество которых подтверждали международные сертификаты качества, среди которых – «TUV-NORD» и «Lloyd's Register», а также отечественные и международные награды [49].

Агломерационная фабрика. Аглофабрика Енакиевского металлургического завода была введена в строй в 1938 году. В состав аглофабрики, на данный момент, входят такие подразделения: рудный двор; шихтовое отделение; спекательное отделение.

Рудный двор агломерационного цеха. Максимальная ёмкость - 130 тыс.т.; эстакада №1 – 2 железнодорожных пути и 16 приемных бункеров ёмкостью по 100 м<sup>3</sup> (железородная часть); эстакада №2 – 2 железнодорожных пути и 20 приемных бункеров ёмкостью по 55 м<sup>3</sup> (известняк и твердое топливо); 2 рудогрейферных перегружателя грузоподъемностью 15 т.; 3 трансферкара грузоподъемностью 65 т.; сборный шихтовый транспортер.

Сырье: как привозное (концентрат Ковдор, известняк), так и собственное (шлак, шламы, коксовая мелочь).

Для производства 1 т агломерата необходимо 1,2 т шихтовых материалов. В состав аглошихты входят такие компоненты: концентрационная смесь (концентрат + известняк, 0,8-1 т); ШАС (шламо-аспирационная смесь, 0,2-0,25 т); шлак – 0,1 т; топливо (коксовая мелочь, 0,05 т).

Согласно технологической инструкции, при агломерации потребление возврата заложено на уровне 20-25%.

Шихтовое отделение. Располагается в 2 ряда, по 12 бункеров в каждой; по заданному расходу автоматически регулируется расход твердого топлива и известняка.

Спекательное отделение. Состоит из 4-х агломерационных машин УЗТМ типа К-2-60 с уширением паллет. Длина рабочей ленты машины составляет 25 м, ширина – 2,5 м, рабочая площадь всасывания – 62,5 м<sup>2</sup> (общая – 250 м<sup>3</sup>), число вакуум камер – 13 шт., слой спекания шихты – до 470 мм. Дробление твердого топлива осуществляет на пяти 4-х валковых дробилках производительностью по 15 т/ч.

Производственная мощность аглофабрики составляет 300,7 тыс. тонн. Производится офлюсованный агломерат с основностью до 1,6-1,8.

Выгрузка агломерата происходит в вагоны – хоппера, в количестве 12 штук, полезным объемом 50-55 м<sup>3</sup>.

Химический состав агломерата характеризуется следующими показателями: Fe – 56-58%; SiO<sub>2</sub> – 3,5-4,5%; CaO – 7-7,5%; FeO – 12-16%; магнезия (MgO) – 2-3% (Ковдорская шихта). Основность – на уровне 1,6-1,8.

Аглофабрика обеспечивает более чем 35 % потребностей доменного цеха в железорудном сырье.

Доменный цех. Доменный цех Енакиевского металлургического завода состоит из таких элементов: доменные печи №3 и №5 полезным объемом 1719 и 1513 м<sup>3</sup> соответственно; литейные дворы для печей №3 и №5, оборудованные чугунными летками, сверлильными машинами, пушками для забивки глины и т.д.; бункерная эстакада, включающая бункера для агломерата, окатышей, кокса, добавок; подбункерные помещения с транспортерной (конвейерной) подачей шихты к скипам, грохотами, питателями; склад окатышей и кокса (СОК), связанный с бункерной эстакадой галереей; отдел приготовления пылеугольного топлива (ПУТ), со складом угля ( $V_{штабеля}$  составляет 40-50 тыс.т. материала); ТЭЦ-ПВС и пр. (таблица 2.1).

Подробная схема доменного цеха Енакиевского металлургического завода представлена на рисунке 2.1.

Горячее дутьё для ДП №3 и №5 подают 2 блока воздухонагревателей Калугина. Подробная характеристика воздухонагревателей приведена в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Краткая характеристика ДП №3 и №5

№ печи	Объем, м <sup>3</sup>	Кол-во фурм, шт	Летки, шт	Кол-во бункеров, шт	T <sub>дутья</sub> , °C	Производство, тыс.т./год
3	1719	24	2	18	1150	1400
5	1513	20	2	20	1100	1050

Вспомогательные подразделения: разливочные машины чугуна (3 шт.); склад холодного чушкового чугуна с 2-мя магнитными мостовыми кранами; участок ремонта футеровки чугуновозных ковшей; отделение чистки чугуновозных ковшей; отделение сушки чугуновозных ковшей; отделение приготовления огнеупорных масс; механическая мастерская.

Таблица 2.2 – Характеристика воздухонагревателей для ДП №3 и №5

№ печи	ВНК	Кол-во	Тип ВНК	V <sub>общий</sub> ВНК	Машины СПВГ, шт	R <sub>дутья</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	Расход, м <sup>3</sup> /мин
3	Калугина	3	безшахтные	42286	2	1,9-2,6	2700
5	Калугина	3	безшахтные	46624	3	1,9-2,5	2600

Характеристика ДП №3. Доменная печь №3 была задута в октябре 2011 г. Печь рассчитана на работу с комбинированным дутьем (вдувание ПУТ, ПГ, обогащение дутья кислородом, азотом, увлажнение дутья паром). Имеет 24 воздушные фурмы, с сечением 170-180 мм. Печь оборудована лотковым БЗУ типа «Миди» фирмы «Paul Wurth». Насчитывает 2 чугунные летки.

В горн печи вмонтирована конструкция в виде стакана (американская технология). Помимо этого, шахта и горн печи футерованы жаропрочными бетонами и залитыми в них водоохлаждаемыми панелями, огнеупорами динасовыми и мулитовыми.

Для ДП №3 предусмотрено предварительное, с выделением мелкофракционной части, грохочение агломерата, окатышей и кокса.

Производство чугуна ежесуточное – 3360 т.; ежегодное – 1,2 млн.т.

Характеристика ДП №5. Доменная печь №5 была задута в июне 2007 г. Печь рассчитана на работу с комбинированным дутьем (вдувание ПУТ, ПГ, обогащение дутья кислородом, азотом, увлажнение дутья паром). Имеет 20 воздушных фурм, с сечением 170-180 мм. Печь оборудована типовым двухконусным загрузочным устройством, работающим в основном (тарелки и малый конус) и вспомогательном режиме (малый и большой конус); печь рассчитана на давление газа под колошником от 100 до 140 кПа.

Шахта и горн печи футерованы: жаропрочными бетонами и залитыми в них водоохлаждаемыми панелями; огнеупорами динасовыми и мулитовыми; японскими и китайскими микропористыми и супермикропористыми углеродными блоками.

Для ДП №5 предусмотрено предварительное, с выделением мелкофракционной части, грохочение агломерата, окатышей и кокса.

Производство чугуна ежесуточное – 2550 т.; ежегодное – 1,02 млн.т.

ДП №3 и №5 работают на агломерате местной аглофабрики; кокс производства ЕКХЗ, Макеевки, Ясиноватой; окатыши – Госрезерв; используют известняк Докучаевский; добавки (коксовый орешек, конвертерный шлак) – собственного производства.

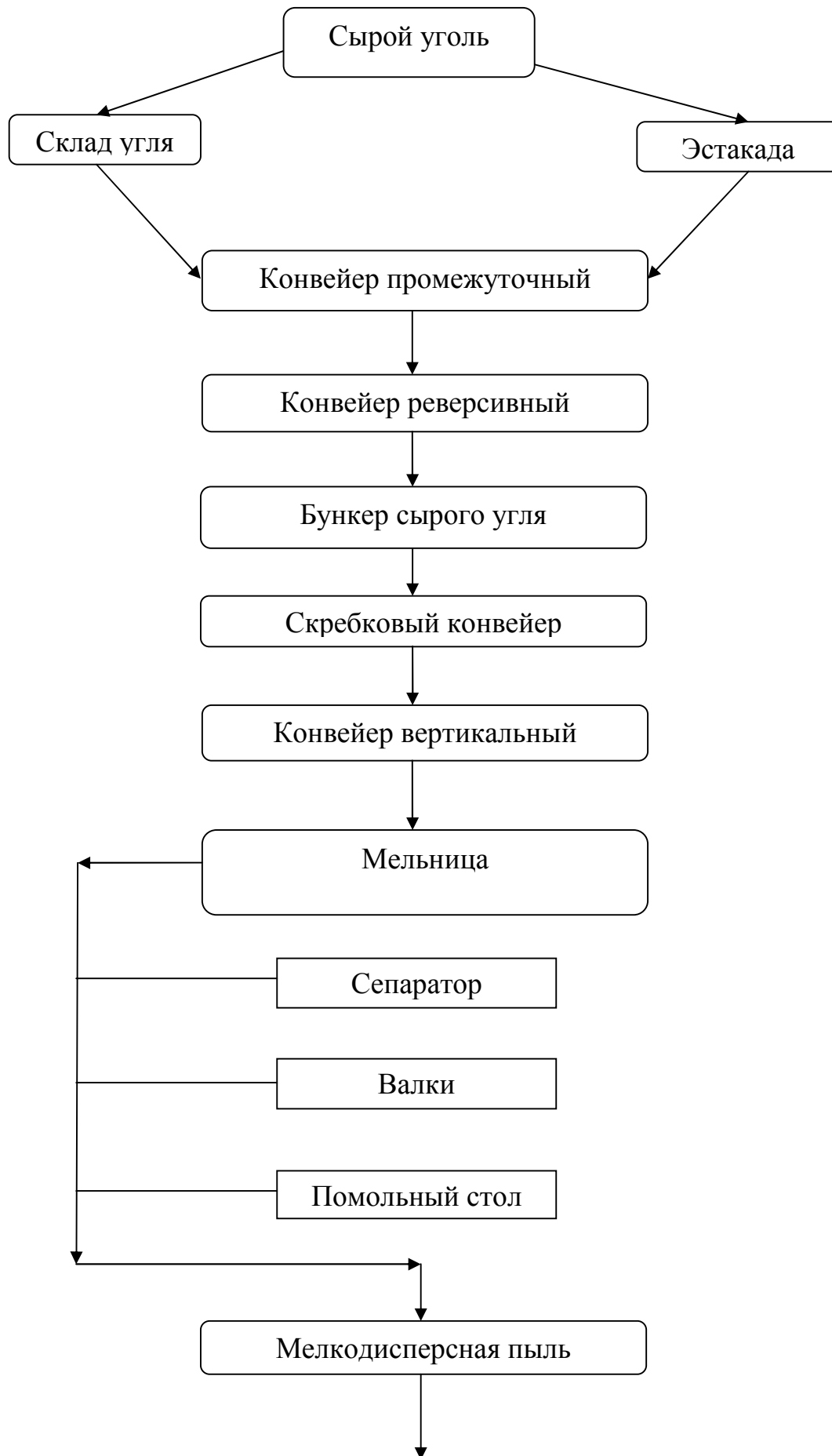
Удельная производительность печей составляет 2 т/(м<sup>3</sup>\*сутки) и более, расход кокса – в пределах 450-550 кг/т чугуна (в зависимости от расхода дополнительных видов топлива, дутьевого режима, загружаемой шихты, шлакового режима).

Установка пылевдувания (ПУТ). Мощность оборудования комплекса ПУТ на ЕМЗ рассчитана на объем вдувания пылеугольного топлива в количестве от 180 до 240 кг/т чугуна и составит 590 тыс. тонн в год.

Схема процесса приготовления ПУТ представлена на рисунке 2.3

В состав комплекса входят: пылеприготовительное отделение, трубчатый конвейер, бункерная эстакада, склад угля, участок грохочения и дробления. Технология вдувания ПУТ соответствует законодательным нормам по выбросам в атмосферу. Замкнутый цикл циркуляции пыли и герметичность установки – главное техническое решение проекта.

Схема приготовления ПУТ. Существует два способа подачи угля в отдел приготовления ПУТ – посредством транспортировки угля трубчатым конвейером со склада сырого угля или по эстакаде. Группой конвейеров уголь подается в два бункера сырого угля ( $V_{пол} = 900 \text{ м}^3$ ), после чего, транспортируется скребковым реверсивным конвейером в мельницу. Мельница состоит из сепаратора (верхняя часть), валков (средняя часть) и помольного стола (нижняя часть мельницы). На помольном столе необходима «подушка» измельченного угля, с целью снижения вибрации. В мельнице происходит сушка угля с помощью генератора.



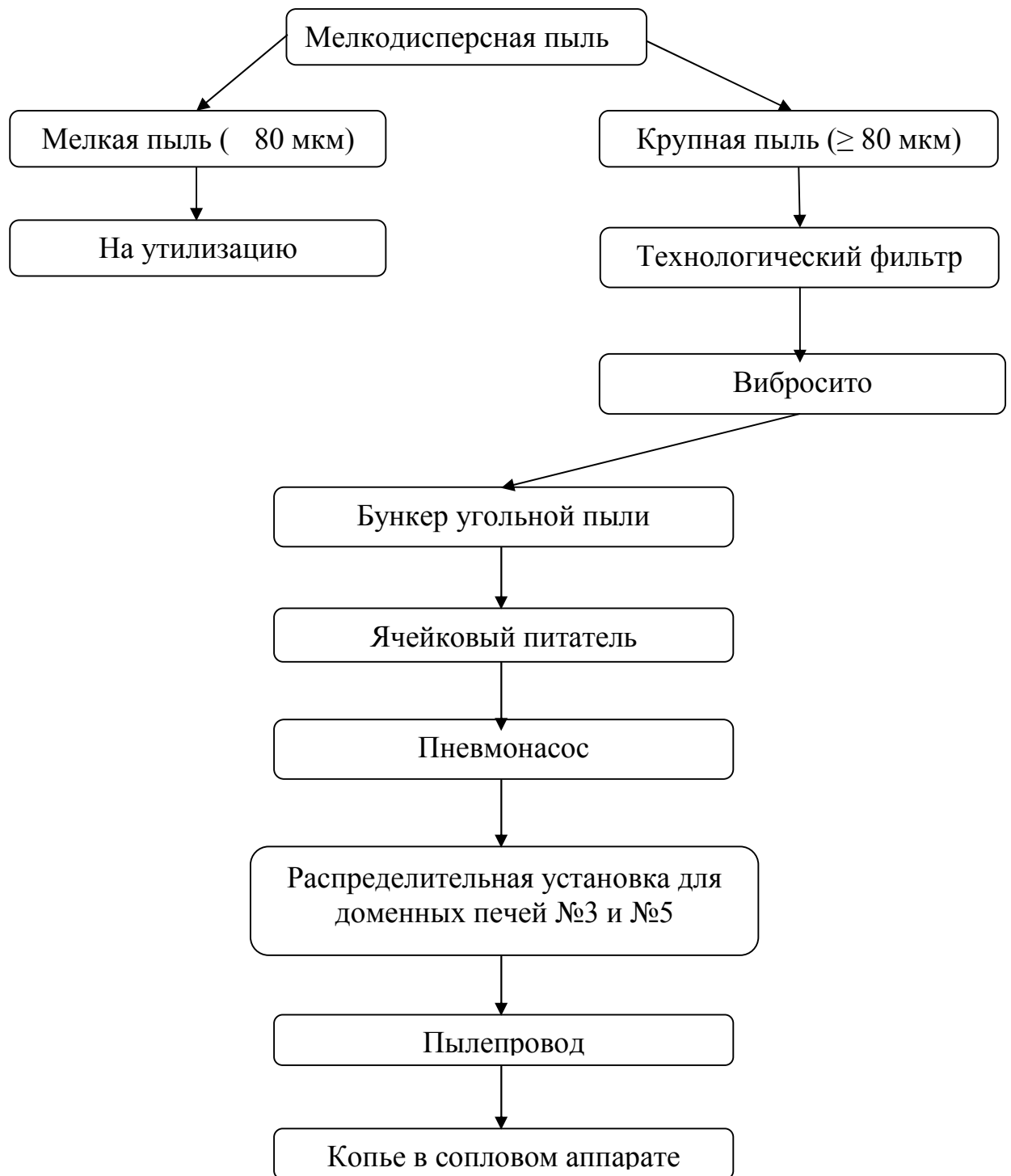


Рисунок 2.3 – Схема приготовления ПУТ на Енакиевском металлургическом заводе



Принцип работы генератора – горелка с ПГ разогревает кладку внутри генератора до температуры 300-350<sup>0</sup>С; после чего подача ПГ прекращается и начинается подача доменного газа или газа с кауперов. После сушки и измельчения пыль фракцией 80-95 мкм транспортируется в бункер угольной пыли и далее.

Применение угольной пыли менее 80 мкм нецелесообразно и имеет негативные последствия – возрастает частота прогорания фурм.

В связи с тем, что с углем может поступать мусор, предусмотрены участки для отбора и вывода этого мусора из оборота.

Цикл пылеприготовления – замкнутый; основной технологический газ, задействованный в системе – азот.

Склад окатышей и кокса (СОК). С 2000 г. по декабрь 2005 – январь 2006 г. был введен в эксплуатацию первый в Украине склад окатышей и кокса. Склад способен принять 10 млн.т. окатышей и 3,5 млн.т. кокса. Строительство СОКа позволило:

- обеспечить доменные печи более качественным коксом;
- осуществить предварительную обработку кокса с целью минимизировать содержание фракции +80 мм и -10 мм – тем самым, улучшив качественные показатели кокса;
- снизить содержание мелочи в окатышах до минимума.

В состав СОК входят: разгрузочное устройство; склад окатышей и кокса; узел сортировки материала; участок погрузки отсева окатышей; система конвейеров для транспортировки кокса и окатышей (рис. 2.4).

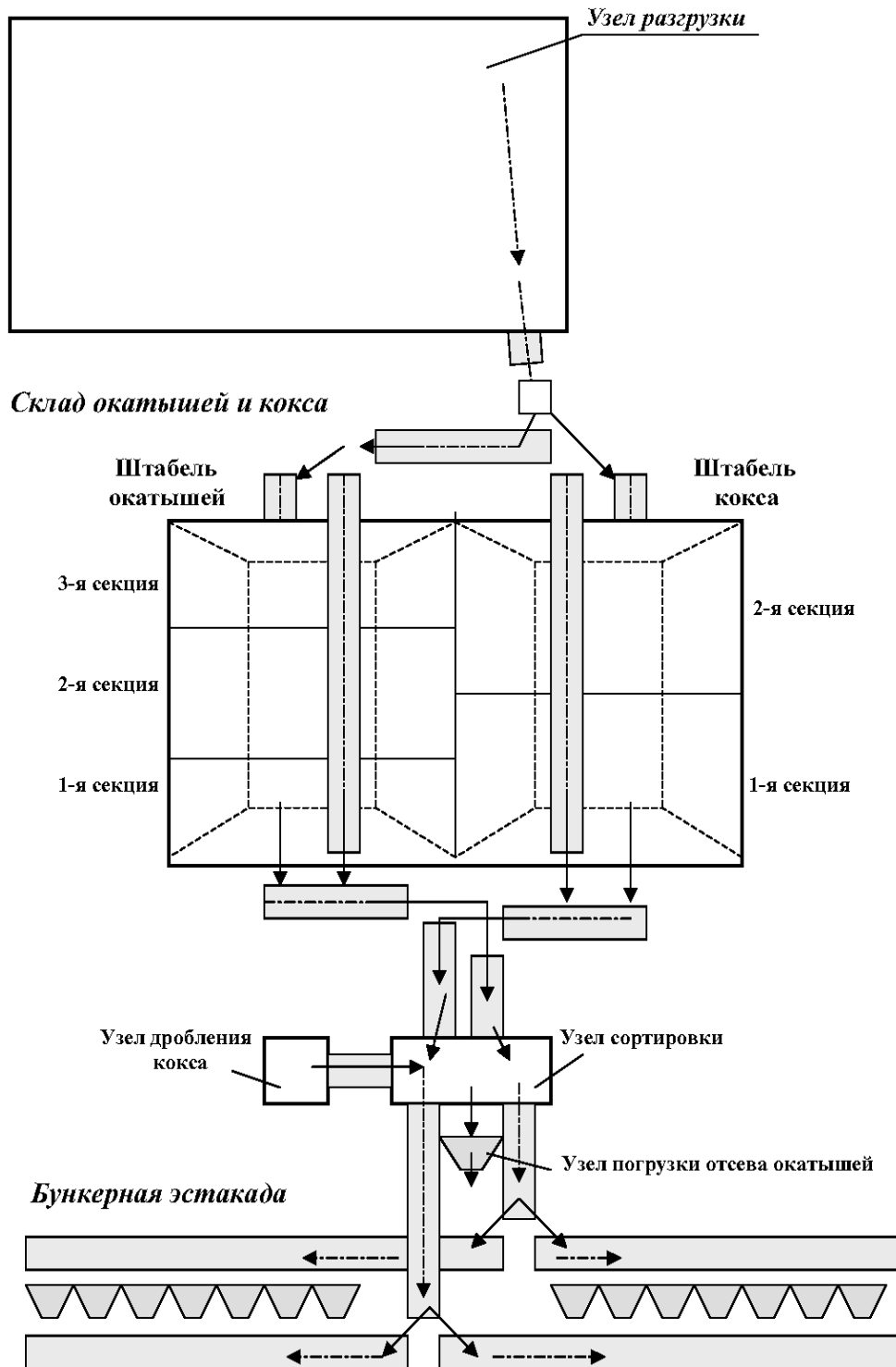


Рисунок 2.4 – Подготовка шихтовых материалов на складе окатышей и кокса

Кислородно-конвертерный цех. Конвертерный цех (КЦ) Енакиевского металлургического завода построен по проекту института «Гипросталь». Первая очередь КЦ в составе двух конвертеров была введена в эксплуатацию в августе 1968г., третий конвертер пущен в июне 1969 года.

В настоящее время в КЦ работают три кислородных конвертера вместимостью 160 т каждый, с верхней продувкой и с полным сжиганием окиси углерода. Производственная мощность цеха 2,7 млн.т.стали в год.

В состав конвертерного цеха входят следующие вспомогательные цеха и отделения:

- миксерное отделение;
- шихтовое отделение;
- цех подготовки составов;
- известково-огнеупорный цех;
- кислородный цех.

Миксерное отделение состоит из двух стационарных миксеров вместимостью по 1300 тонн каждый, двух заливочных кранов 180/50т, графитоулавливателя и устройства для скачивания шлака.

Цех подготовки составов включает в себя: установку для механизированной чистки и смазки изложниц, стрипперное отделение, два склада для слитков, двор изложниц.

Известково-огнеупорный цех включает в себя обжиговое отделение в составе 4-х вращающихся печей для обжига известняка общей производительностью 700 т/сутки, прессовое отделение в составе двух гидравлических прессов ПР-7 и одного итальянского прессы «Сакми». На прессах производят конвертерные безобжиговые огнеупоры ПИБС-50.

Для энергообеспечения завода имеются цехи отдела главного энергетика: ТЭЦ-ПВС, кислородный, газовый, КИПиА, цех сетей и подстанций, цех водоснабжения.

### 3 Подготовка металлургического кокса и обоснование увеличения расхода коксового орешка

#### 3.1 Подготовка металлургического кокса на складе окатышей и на бункерной эстакаде

Назначение, состав, выполняемые операции на складе окатышей и кокса. Склад окатышей и кокса (СОК) предназначен для: приема окатышей и кокса с внешней железнодорожной сети; хранения и сортировки этих материалов в бункерах; грохочения кокса и окатышей; дробления кокса фракцией >80 мм; хранения отсева окатышей и кокса, с их последующей транспортировкой на переработку; конвейерной подаче материалов на бункерную эстакаду, с загрузкой в бункера эстакады. Для транспортировки материалов со склада к доменным печам №3 и №5, проведены наклонные крытые галереи на бункерную эстакаду, с которой и осуществляется заполнение бункеров.

В состав подразделений склада входят следующие компоненты: разгрузочное управление; перегрузочный узел ПУ-1; склад окатышей и кокса; узел сортировки; дробильное отделение; бункер отсева окатышей; перегрузочный узел на бункерной эстакаде; система ленточных конвейеров.

Разгрузочное управление представляет собой 2 сблокированных пролета: А-Б и Б-В. В пролете А-Б (размеры 8,3x51 м) расположен железнодорожный путь и 7 подземных бункеров для кокса. При необходимости возможна выгрузка окатышей. В пролете Б-В (размеры 8,3x51 м) расположен железнодорожный путь и 7 подземных бункеров для окатышей. При необходимости возможна выгрузка кокса.

Установлено следующее оборудование: накладной вагонный вибратор 2НВ – 2 м; ручные шиберные затворы (14 шт.), устанавливаемые под каждым подземным бункером; вибропитатели (14 шт.), устанавливаемые под каждым бункером; централизованная смазка подшипников барабанов конвейеров;

ленточный конвейер ЛК-1 в пролете Б-В; ленточный конвейер ЛК-2, устанавливаемый в пролете А-Б.

Галерея с ленточным конвейером ЛК-3 поочередно транспортирует кокс и окатыши от РУ к перегрузочному узлу ПУ-1.

В перегрузочном узле ПУ-1 установлено следующее оборудование: привод ленточного конвейера ЛК-3; конвейер ЛК-4; хвостовые части конвейеров ЛК-5 и ЛК-6.

Склад окатышей и кокса представляет собой склад хребтового типа. Предусмотрено раздельное хранение материалов в двух штабелях, отсеченных продольной стенкой. Помимо этого, предусмотрено хранение 2-х марок кокса (1 продольная перегородка) и 3-х марок окатышей (2 продольные стенки) Схема СОКа приведена на рисунке 3.1.

Над каждым штабелем есть надштабельная галерея с ленточными конвейерами (ЛК-5 для кокса и ЛК-6 для окатышей) с разгрузочными тележками, под обоими штабелями устроена подземная часть склада с установленными ленточными конвейерами ЛК-7,8,9,10. По оси «7» к складу окатышей и кокса пристроен перегрузочный узел ПУ-2 (предусмотрены ленточные конвейера ЛК-11,12 и хвостовые части конвейеров ЛК-13,14).

Загрузка сырья на ленточные конвейеры ЛК-7÷10 осуществляется через промежуточные металлические воронки, устанавливаемые в полу склада и виброзатворы-питатели, которые крепятся к нижней части воронок. Всего устанавливается 84 виброзатвора-питателя лоткового типа.

В надштабельном помещении расположен конвейер ЛК-5, с которого осуществляется выгрузка кокса в штабель. Отгрузка кокса в сортировочный узел и на бункерную эстакаду осуществляется конвейерами ЛК-7,8 и 11, расположенными под штабелем кокса.

Предусмотрено укрытие, расположенное над штабелем; позволяет снизить загрязнение окружающей среды пылью окатышей.

# Разгрузочное устройство

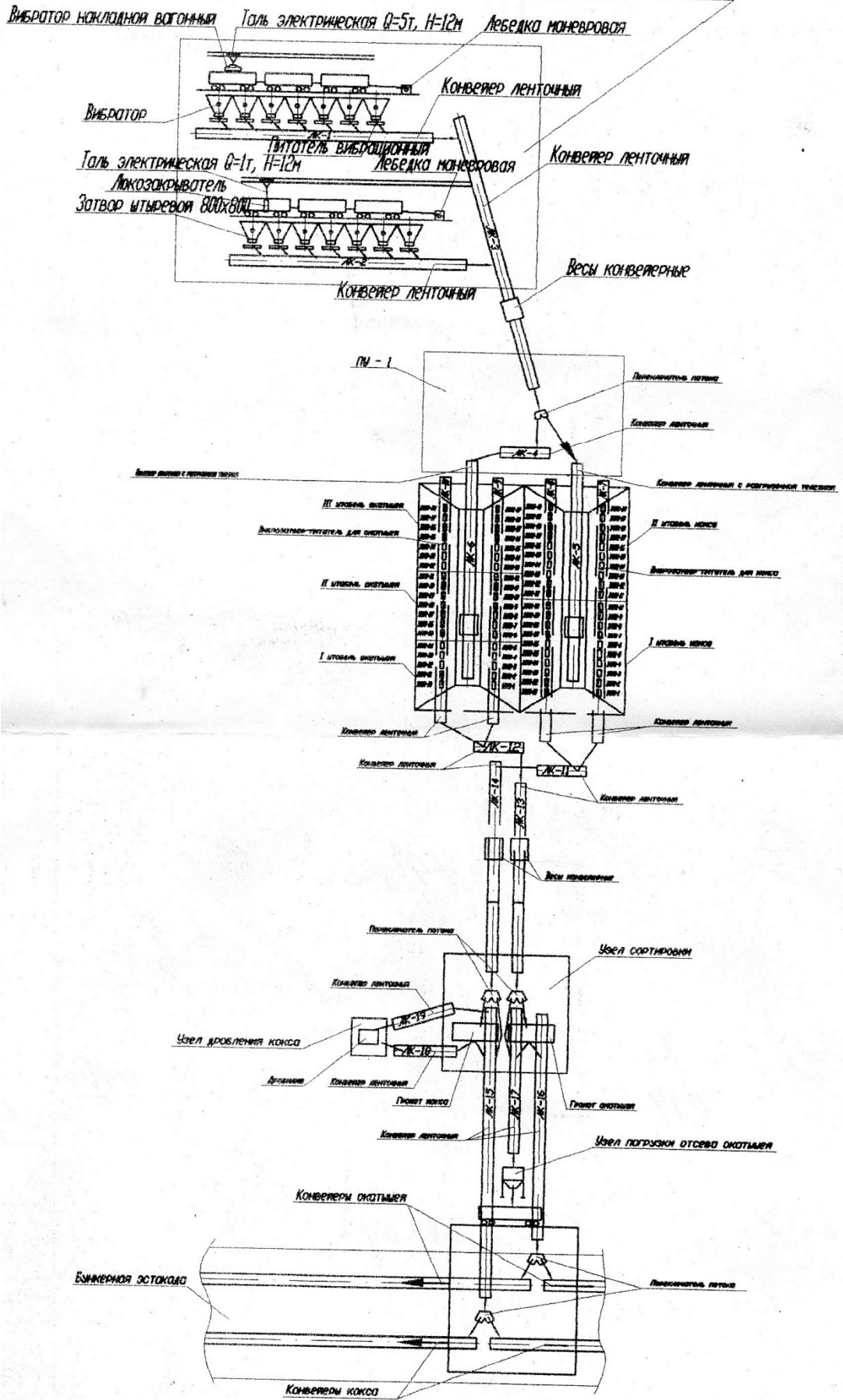


Рисунок 3.1 – Схема склада окатышей и кокса

В надштабельной галерее установлен конвейер ЛК-6, с которого осуществляется выгрузка окатышей в штабель.

Отгрузка окатышей в сортировочный узел и на бункерную эстакаду осуществляется конвейерами ЛК-9,10 и 12, расположенными под штабелем окатышей.

Для выполнения ремонтных работ устанавливаются: передвижные электротали грузоподъемностью 3,2 т (2 шт.) в надштабельных галереях конвейеров ЛК-5,6; электротали грузоподъемностью 1 т в подземной части.

Галерея с конвейерами ЛК-13,14, транспортирующая материал от склада в узел сортировки.

В узле сортировки расположены 2 грохота, характеристика которых приведена в таблице 3.1.

Помимо двух грохотов, в узле также расположены хвостовые части конвейеров ЛК-15÷18; головные части конвейеров ЛК-13,14 и 19.

Таблица 3.1 – Характеристики грохотов на участке узла сортировки

Назначение	Производит., т/час max м <sup>3</sup> /т час	Кол-во ярусов, шт	Нижний ярус, мм	Верхний ярус, мм	Электр.двиг, тип	N, кВт
Отсев окатышей*	600,0	2	7	-	4АМУ180М8	15
Кокс 80 мм	700,0	2	80	100	4АМУ180М8**	15

\* происходит отсев окатышей фракцией 0-7 мм;

\*\* применены два электродвигателя этого типа.

Галерея конвейера ЛК-18, с которого осуществляется транспортирование кокса фракцией 80 мм в дробильное отделение.

В дробильном отделении установлена дробилка валковая шипованная с гранеными валками. Производительность дробилки – 150 м<sup>3</sup>/час; крупность измельченного материала – 27-80 мм (95%); крупность кусков в исходном материале, максимальная – 150 мм; привод – мотор редуктор, в количестве 2 штук; тип привода – 1МЦ2С-125-112-15-G 350-Ц-УЗ; мощность – 15 кВт.

Куски недробимого кокса размером 140 мм эвакуируются без отключения дробилки. В случае если размер кусков кокса  $\geq 140$  мм – происходит автоматическое отключение дробилки (срабатывание конечного выключателя, при отклонении шарнирно-подвижной рамы). Ленточным конвейером ЛК-19 дробленый кокс транспортируется обратно на конвейер ЛК-15.

Ленточным конвейером ЛК-17 отсев окатышей транспортируется от узла сортировки в бункер отсева окатышей.

Галерея ленточных конвейеров ЛК-15 и 17 транспортирует кокс и окатыши на перегрузочный узел бункерной эстакады доменных печей №3 и №5.

Перегрузочный узел на бункерной эстакаде предназначен для перегрузки: кокса с конвейера ЛК-15 через 2-х рукавную течку на конвейеры №3 и №4; окатышей с конвейера ЛК-16 через 2-х рукавную течку на конвейеры №1 и №2.

Прием и разгрузка шихтовых материалов. Данные о качестве и количестве поступивших материалов на СОК регистрируются в журнале прихода сырья и заносятся бригадиром бункеров в компьютерную информационную сеть.

Прибывшие кокс и окатыши подаются в отделение разгрузки на два постановочных пути. Кокс разгружается по правой стороне разгрузочного отделения, окатыши – по левой.

Подаваемый на левый путь, маневровый состав с грузом включает в себе не более 12 полувагонов или 14 хопперов-окатышевозов. Маневровый состав с грузом на правом пути содержит 14 полувагонов или 11 хопперов-коксовозов.

Вибропитатели приемных бункеров разгрузочных линий отрегулированы на выдачу определенного материала, поэтому, унификация линий по виду разгружаемого материала не допускается. Отбор материала из бункеров осуществляется при включении вибропитателей; недопустим перегруз материалом конвейера ЛК-3. В случае разгрузки первой партии материала, на вибропитателях открываются ручные шиберные затворы.



С целью разгрузки сырья, запускают транспортные линии тракта подачи материала; этапы включения тракта обратны относительно движения разгружаемых материалов: в зависимости от разгружаемого материала, запускаются линии ЛК-5 (для кокса) или ЛК-4,6 (для окатышей); переключатель потока устанавливается в положение, соответствующее виду принимаемого материала; включается транспортная линия ЛК-3 и одна из линий ЛК-1,2 (одновременное включение в работу транспортных линий ЛК-1 и ЛК-2 не допускается).

В случае одновременной разгрузки кокса и окатышей, выдача очередного материала из бункеров осуществляется только после полного освобождения от сырья тракта ЛК-3,4, 5 (ЛК-6).

На линии ЛК-3, с целью определения массы материала, находящегося на данном пути тракта, установлены конвейерные весы – они фиксируют массу и регистрируют массу в компьютерной информационной системе.

Разгружаемые материалы поступают в накопительные бункера окатышей и кокса – ёмкость бункеров окатышей позволяет хранить 10500 т материала, кокса в количестве 3500 т.

Под окатыши зарезервированы 3 секции бункеров, для кокса – 2 секции бункеров. Производится последовательная посекционная загрузка окатышей; секция заполняется только в случае полного заполнения предыдущей секции.

Смешивание окатышей различных производителей не допускается (в случае, если окатыши – от различных производителей, накопление осуществляется отдельно, в бункера свободных секций; если все секции заполнены – накопление очередной партии окатышей осуществляется только после освобождения материала одной из секций).

Загрузка кокса идентична загрузке окатышей. Перед началом заполнения полностью опорожненной секции бункеров закрывают ручные шиберные затворы на свободных от материала виброзатворах-питателях (после этого действия осуществляется загрузка материала по секциям).

С целью минимизации дробления окатышей и кокса при заполнении бункеров, осуществляется ссыпание материала с разгрузочных тележек на боковую грань штабеля (пилообразно) – это позволяет снизить высоту падения материала.

При формировании штабеля возможно растекание материалов за пределы зоны действия подштабельных питателей транспортных линий (боковые границы пролетов бункеров не ограничены подпорными стенками). В этом случае целесообразно оставлять часть сырья, которая при заборе формирует естественную преграду, препятствующую растеканию материалов.

Однако, в связи с тем, что при длительном хранении материал начинает деградировать, осуществляется зачистка пода путем подачи бульдозером балластного объема материалов на решетки подштабельных питателей, с дальнейшей транспортировкой материала на бункерную эстакаду.

Отгрузка материалов с бункерной эстакады осуществляется последовательно, с полным опорожнением секции, при включении виброзатвора-питателя. Отгрузка материала из бункеров осуществляется с помощью одной из двух транспортных линий подбункерного помещения на каждый вид сырья.

Перед включением виброзатворов-питателей производится запуск тракта шихтоподачи сырья в бункера доменных печей. Последовательность включения тракта обратная относительно движения материалов, отгружаемых из накопительных бункеров. Включение тракта, в зависимости от вида подаваемого материала, производится в следующей последовательности:

- включается одна из линий ЛК-1, ЛК-2 для окатышей или ЛК-3, ЛК-4 для кокса;
- включаются линии ЛК-16, ЛК-17 для окатышей или ЛК-15 для кокса;
- включается линия ЛК-19 (кокс), коксовая дробилка, линия ЛК-18, грохот сортировки кокса, транспортные линии ЛК-11,14, одна из линий ЛК-7, ЛК-8;
- включается грохот отсева окатышей при подаче окатышей;
- включаются линии ЛК-12,13;

- включается одна из транспортных линий ЛК-9, ЛК-10;
- включаются виброзатворы-питатели отгрузки материалов.

Виброзатворы-питатели объединены в блоки (в одном блоке – 1,2 или 3 питателя). Включение питателей осуществляется блочно; включение нескольких блоков одновременно не допускается.

Транспортными линиями ЛК-13,14 сырье подается на узел сортировки сырья; на этом пути тракта осуществляется провешивание материала на конвейерных весах, результат фиксируется компьютерной системой. С транспортной линии ЛК-13 окатыши попадают на грохот отсева мелочи: фракция окатышей 5 мм отсеивается и транспортируется лентой ЛК-17 в бункер отсева окатышей. Характеристика сит грохота: сита – резиновые; размер ячеек верхних сит – 25 мм, ячейки нижних сит – 5 мм.

Просеянные окатыши по транспортной линии ЛК-16 подаются на бункерную эстакаду доменного цеха, на тракт загрузки бункеров доменных печей.

Отсеянная мелочь окатышей поступает в накопительный бункер с  $V_{\text{бункера}} = 150 \text{ м}^3$ . Степень наполнения бункера контролируется датчиками уровня.

Операции по выпуску мелочи выполняются в следующем порядке: телескопический питатель опускается, при помощи лебедки, на минимально возможный уровень над подом вагона (минимизация пылевыведения); открывается вода на брызгала питателя; открывается шиберный затвор выпуска пыли; по ходу наполнения вагона, ручной лебедкой осуществляется подъем телескопического питателя (выдержка оптимального расстояния между конусом материала и питателем); при наполнении вагона осуществляется закрытие шиберного затвора и прекращается подача воды; железнодорожный состав перемещается на необходимую дистанцию для дальнейшего наполнения при помощи лебедки.

Кокс с линии ЛК-14 попадает на грохот отсева фракции 80 мм; после грохочения кокс крупностью 80 мм транспортируется линией ЛК-15 к тракту

подачи кокса в бункера доменных печей бункерной эстакады. Кокс крупностью 80 мм подается линией ЛК-18 к узлу дробления, где при помощи валковой дробилки измельчается и с помощью линии ЛК-19 возвращается на линию ЛК-15.

Транспортными линиями ЛК-15, ЛК-16 сырье подается на бункерную эстакаду доменного цеха, на линии разгрузки кокса и окатышей, соответственно.

Транспортные линии загрузки окатышей в бункера (ЛК-1 и ЛК-2), расположены вдоль линии бункеров железорудного сырья доменных печей и имеют по одной разгрузочной тележке. Линия бункерной эстакады ЛК-1 обеспечивала загрузку окатышами бункеров ДП №1; линия ЛК-2 загружает бункера доменной печи №3.

Переключение потока окатышей с ЛК-16 на ЛК-1 и ЛК-2 осуществляется с помощью реверсивного затвора (размещен на перегрузочном бункере в устье транспортной линии ЛК-16. Загрузка окатышей в бункера осуществляется подвижными тележками. Материал по тракту подается непрерывно.

В случае наполнения бункера правой транспортной линией ЛК-1, происходит смещение потока сырья на левую транспортную линию ЛК-2; возможен обратный процесс. Такая схема загрузки исключает просыпание окатышей на рабочую площадку эстакады и попадание их в смежные бункера при перемещении разгрузочной тележки.

Транспортные линии загрузки кокса в бункера (ЛК-3 и ЛК-4), расположены вдоль линии бункеров кокса и добавок. Транспортная линия ЛК-3 подавала кокс к ДП №1; линия ЛК-4 транспортирует кокс к ДП №3.

Загрузка кокса в бункера выполняется разгрузочными тележками, идентичными разгрузочным тележкам окатышей на ЛК-1 и ЛК-2.

В случае необходимости перехода загрузки кокса с бункеров одной печи на бункера другой, поток материалов переключают с линии ЛК-3 на ЛК-4, и наоборот. Переключение потока происходит при помощи реверсивного затвора (установлен на перегрузочном бункере, в устье транспортной линии ЛК-15).

В результате прохождения кокса через СОК, в нем снижается содержание вредной фракции >80 мм, а содержание фракции <10 мм остается на одном уровне с коксом, который не прошел подготовку на складе (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Фракционный состав скипового кокса, загруженного в ДП №5

Вид загруженного кокса	Фракционный состав (мм) кокса, %					
	+80	80-60	60-40	40-25	25-10	10-0
Кокс, поступивший с СОК	4,45	10,68	51,98	26,07	5,90	0,94
Кокс без обработки на СОКе	11,38	16,69	47,37	20,73	3,25	0,58

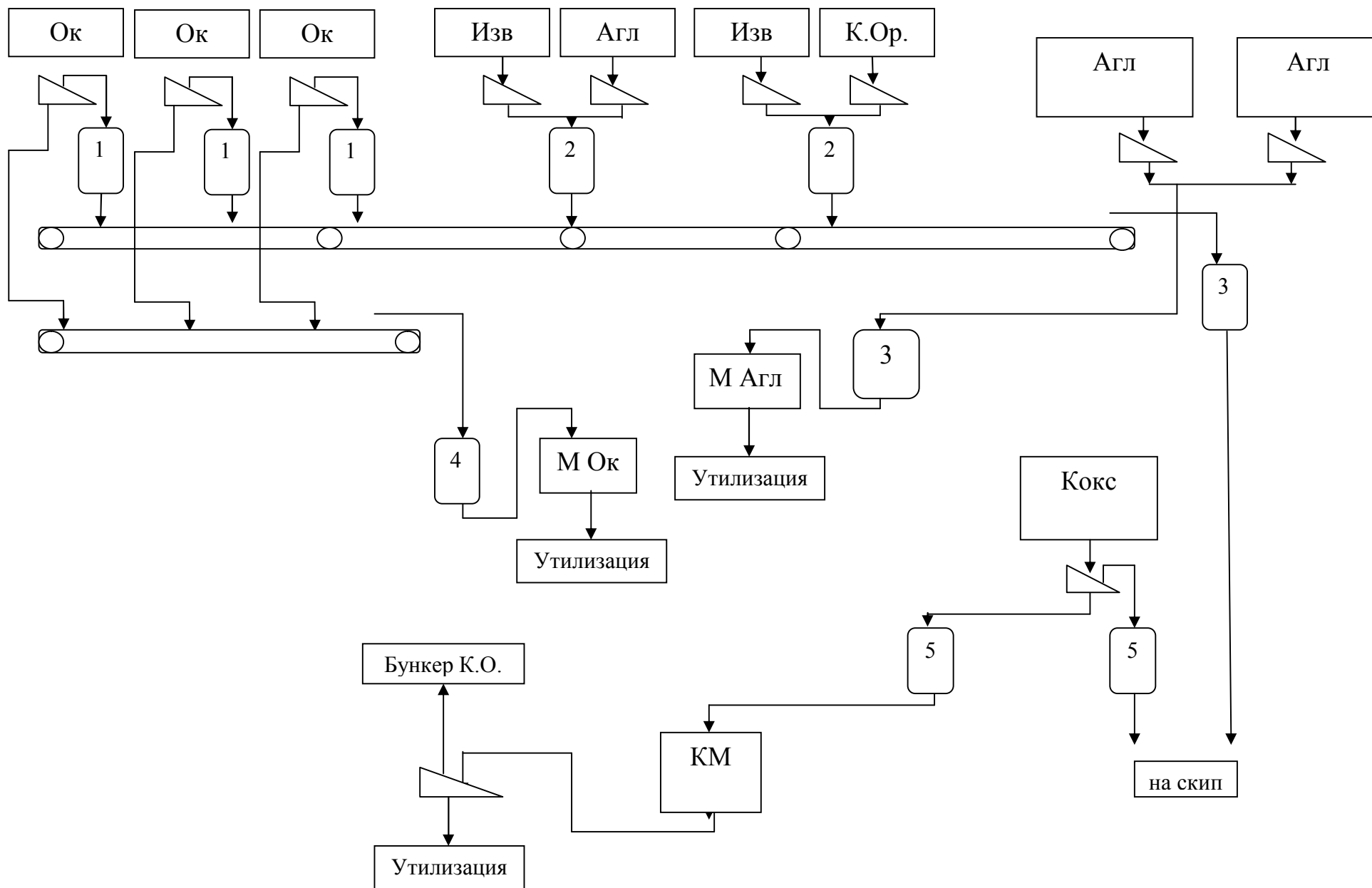
Характеристика бункерной эстакады для ДП №3 и №5. Для доменных печей №3 и №5 была построена бункерная эстакада с непрерывной конвейерной подачей материалов к печи. Загрузка бункеров эстакады осуществляется железнодорожным транспортом или ленточными конвейерами с СОКа (окатыши и кокс).

В связи с тем, что бункера эстакады при конвейерной подаче материалов не лимитируются по высоте, стало возможным снизить количество бункеров в 2-3 раза (по сравнению со схемой при вагон-весах), при одновременном увеличении их объема. Это приводит к упрощению схемы транспортировки и выдачи материала, что, в свою очередь, снижает перегрузку.

По сравнению с работой вагон-весов, конвейерная подача шихты имеет следующие преимущества:

- осуществляется грохочение и отсев мелочи из агломерата, кокса и окатышей (а не только кокса, как на вагон-весах);
- большая точность набора веса;
- режим «досеивания» материала;
- при большом количестве разнородной шихты происходит лучшее усреднение материала.

На рисунке 3.2 представлена схема конвейерной подачи материалов к ДП №3 и №5 (правая сторона).



**Рисунок 3.2 – Схема бункерной эстакады и конвейерной подачи материалов для доменных печей Енакиевского металлургического завода**

В состав бункерной эстакады ДП №3 и №5 входят следующие компоненты: бункера; конвейера ленточные; грохота инерционные; питатели; скипа для транспортировки отсева и пр.

В состав бункерной эстакады ДП №3 входят следующие компоненты:

- бункера, шт.: агломерата – 4, кокса – 2; окатышей – 6; добавок (известняк, коксовый орешек, конвертерный шлак, скрап) – 10;
- бункера отсева, шт.: агломерата – 4; кокса – 2; окатышей – 4;
- конвейера ленточные ЛК: концевые ЖСМ, концевые для отсева окатышей, концевые для отсева агломерата, концевые для отсева кокса;
- скипа: для выгрузки мелочи агломерата, для выгрузки мелочи окатышей; для выгрузки мелочи кокса;
- весовые воронки: промежуточные (окатыши, добавки), основные (агломерат) и коксовые (для кокса);
- грохота инерционные, шт.: коксовые (ГИК 52) – 4; агломерата - 4; окатышей – по 1 грохоту на бункер; для добавок не предусмотрены.

В состав бункерной эстакады ДП №5 входят следующие компоненты:

- бункера, шт.: агломерата – 4; кокса – 2; окатышей – 6; добавок (известняк, коксовый орешек, конвертерный шлак, скрап) – 8;
- бункера отсева, шт.: агломерата – 2; кокса – 2; окатышей – 2;
- конвейера ленточные ЛК: концевые ЖСМ, концевые для отсева окатышей, концевые для отсева агломерата, концевые для отсева кокса;
- скипа: для выгрузки мелочи агломерата, для выгрузки мелочи окатышей; для выгрузки мелочи кокса;
- весовые воронки: промежуточные (окатыши, добавки), основные (агломерат) и коксовые (для кокса);
- грохота инерционные, шт.: коксовые (ГИК 52) – 2; агломерата - 4; окатышей – по 1 грохоту на бункер; для добавок не предусмотрены.

Подготовка шихтовых материалов. Важным элементом подготовки шихты на Енакиевском металлургическом заводе является выделение мелочи

на грохотах в процессе транспортирования материала от бункерной эстакады (и СОКа) к скипам доменных печей. Процесс выделения мелкофракционных материалов организован на следующих участках:

- для кокса – участок выделения кокса фракцией  $>80$  мм и дробильное отделение (СОК); участок грохочения кокса в подбункерном помещении (на ГИК-52) и участок выделения коксового орешка из отсева кокса (подбункерные помещения);

- для агломерата – участок выделения мелочи агломерата на инерционных грохотах (подбункерные помещения);

- для окатышей – узел сортировки сырья (транспортировка к грохоту конвейерной лентой ЛК-13) (СОК); участок выделения мелочи окатышей на инерционных грохотах (подбункерные помещения);

- для добавок – работа грохотов не предусмотрена.

Характеристика грохота ГИК-52: двух-ситовый; размер ячеек верхнего сита - 50x50 мм или 60x60 мм; размер ячеек нижнего сита – 38x38 мм или 40x40 мм; материал сит – резина; форма ячеек – квадрат.

Характеристика грохота ГИК-22 для получения коксового орешка: одно-ситовый; размер ячеек сита – 18x18 мм или 20x20 мм; материал сит – железные; форма отверстий - зигзагообразные.

Характеристика грохота для агломерата: одно-ситовый; размер ячеек сита – 5x5 мм (возможно колебание размеров от 5 до 12 мм); материал сит – железные; форма отверстий – прямолинейная канавка.

Характеристика грохота для окатышей: одно-ситовый; размер ячеек сита – 5x5 мм (возможно колебание размеров от 5 до 12 мм); материал сит – резина; форма отверстий – ёлочка/квадрат.

Характеристика грохота окатышей на СОКе: одно-ситовый; размер ячеек – 5x5 мм; материал сит – резина; форма отверстий – квадрат; на данный момент отсев мелочи не осуществляется (грохота защиты).



Характеристика грохота кокса на СОКе: одно-ситовый; размер ячеек - 70x70 мм или 80x80 мм; материал сит – резина/металл; форма отверстий сита – квадрат.

Стоит отметить, что в подбункерных помещениях ДП №5, на участке грохочения агломерата, стоят двухрядные грохота. Размер ячеек верхнего сита – 20x20 мм, нижнего – 5x5 мм. Применение грохотов данного типа для грохочения агломерата не снизило приход мелочи с материалом – приход мелкофракционных частей остается на уровне 20-24%.

Приход мелочи агломерата с агломератом составляет 15% (ДП №3) и более (ДП №5).

С окатышами в доменные печи приходит около 5-8% мелочи; ситуацию может улучшить предварительное грохочение окатышей на СОКе.

Приход коксовой мелочи фракцией <10 мм со скиповым коксом в доменные печи составляет 7-10% (этот показатель меньше для ДП №3). Значительное образование мелочи происходит из-за невысокого качества кокса ( $CSR \approx 40$ ;  $CRI \approx 35-40\%$ ), однако, показатель холодной прочности  $M_{25}$  находится на уровне 87-88%.

### 3.2 Оценка качества используемого на Енакиевском металлургическом заводе кокса, по корреляционным коэффициентам

Основными производителями кокса в Донбассе являются такие коксохимические предприятия (КХЗ): Ясиновский, Макеевский, Енакиевский (ЕКХЗ), Авдеевский, заводы в Донецке и в Горловке.

На сегодняшний день, для Енакиевского металлургического завода основными производителями кокса остаются: Ясиновский КХЗ, Макеевский КХЗ и ЕКХЗ.

В процессе рассмотрения технических анализов используемого на ЕМЗ кокса этих производителей, возник вопрос о влиянии различных компонентов технического анализа кокса на его показатели горячей и холодной прочностей

(CSR, M<sub>25</sub>, M<sub>10</sub>) и реакционной способности (CRI). Помимо этого, было принято решение оценить зависимость между компонентами технического анализа, с одной стороны, и выходом фракций >80 мм и <25 мм, с другой.

Задачей данного исследования было следующее – проведение оценки коэффициентов парной корреляции показателей качества кокса. Исследование оценки коэффициентов парной корреляции различных показателей кокса затронуло такие компоненты: показатели технического анализа; показатели горячей и холодной прочностей, а также, реакционной способности; выход фракций >80 мм и <25 мм. Оценке были подвергнуты 3 марки кокса следующих производителей, кокс которых используется на ЕМЗ: Ясиновский, Макеевский и ЕКХЗ.

В таблице 3.3 приведен усредненный технический анализ кокса по производителям. Данные технического анализа кокса были необходимы для получения коэффициентов парной корреляции.

Таблица 3.3 – Технический анализ кокса по предприятиям

Предприятие (КХЗ)	Технический анализ кокса, %								
	W	Зола	Сера	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	80	<25	CSR	CRI
Ясиновский	4,7	10,7	1,0	88,9	7,1	10,7	2,7	42,7	38,3
Макеевский	4,8	11,1	1,0	87,5	7,5	11,2	3,9	43,4	37,4
Енакиевский	3,4	11,5	1,0	88,3	7,0	11,8	3,1	43,4	37,2

Описание проведение эксперимента. Для оценки коэффициентов парной корреляции показателей качества кокса был выбран временной промежуток, составляющий 3 года и 11 месяцев (январь 2015 г. – ноябрь 2018 г.).

С целью повышения уровня чистоты эксперимента, часть опытов не была принята в расчет – по причине недостаточного количества данных технического анализа кокса. Представительное количество опытов для каждого предприятия установлено на уровне 100 и более.

Коэффициенты парной корреляции показателей качества кокса были определены при помощи пакета анализа данных Microsoft Excel.

В таблицах 3.4-3.6 представлены корреляционные коэффициенты зависимостей показателей технического анализа кокса.

Таблица 3.4 – Корреляционные коэффициенты влияния показателей Ясиновского КХЗ между собой.

	W	Зола	Сера	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	80	<25	CSR	CRI
W	1								
Зола	0,187	1							
Сера	-0,248	-0,410	1						
M <sub>25</sub>	-0,145	-0,778	0,444	1					
M <sub>10</sub>	0,105	0,650	-0,434	-0,912	1				
80	0,222	0,614	-0,396	-0,476	0,421	1			
<25	0,233	0,700	-0,437	-0,757	0,756	0,680	1		
CSR	0,022	-0,481	-0,326	0,260	-0,245	-0,324	-0,303	1	
CRI	-0,050	0,351	0,422	-0,105	0,098	0,218	0,150	-0,973	1

Для определения коэффициентов парной корреляции по компонентам технического состава кокса, его показателей CSR, CRI, M<sub>25</sub>, M<sub>10</sub>, выхода фракций >80 мм и <25 мм Ясиновского КХЗ было проведено 279 опытов. Такое количество превышает установленную норму опытов и является представительным.

Для кокса Ясиновского КХЗ были выявлены следующие зависимости: обратная для CRI/CSR (-0,973); обратная для M<sub>25</sub>/A<sup>c</sup> (-0,778); обратная для M<sub>25</sub>/M<sub>10</sub> (-0,912); обратная для M<sub>25</sub>/ $\lt 25$  (-0,757); прямая для M<sub>10</sub>/ $\lt 25$  мм (0,756); прямая для  $\lt 25$ /A<sup>c</sup> (0,7); прямая для M<sub>10</sub>/A<sup>c</sup> (0,65); прямая для 80/A<sup>c</sup> (0,614).

Таблица 3.5 – Корреляционные коэффициенты влияния показателей Макеевского КХЗ между собой.

	W	Зола	Сера	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	80	<25	CSR	CRI
W	1								
Зола	0,234	1							
Сера	0,311	-0,252	1						
M <sub>25</sub>	0,176	-0,116	0,143	1					
M <sub>10</sub>	0,061	0,199	-0,077	-0,578	1				
80	0,375	0,235	0,236	0,523	-0,171	1			
0-25	-0,016	0,276	0,049	-0,036	0,067	0,194	1		
CSR	-0,405	-0,431	-0,178	-0,064	0,066	-0,343	-0,272	1	
CRI	0,382	0,426	0,213	0,072	-0,058	0,329	0,304	-0,950	1

Для определения коэффициентов парной корреляции по компонентам технического состава кокса, его показателей CSR, CRI, M<sub>25</sub>, M<sub>10</sub>, выхода фракций >80 мм и <25 мм Макеевского КХЗ было проведено 993 опыта. Такое количество превышает установленную норму опытов и является представительным.

Таблица 3.6 – Корреляционные коэффициенты влияния показателей Енакиевского КХЗ между собой.

	W	Зола	Сера	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	80	<25	CSR	CRI
W	1								
Зола	0,382	1							
Сера	-0,184	-0,165	1						
M <sub>25</sub>	-0,302	-0,132	0,106	1					
M <sub>10</sub>	0,149	-0,007	0,007	-0,624	1				
80	0,106	0,263	0,462	-0,255	0,156	1			
0-25	-0,032	0,025	0,330	-0,280	0,414	0,407	1		
CSR	-0,050	0,043	-0,584	0,333	-0,295	-0,669	-0,490	1	
CRI	0,067	0,007	0,562	-0,288	0,167	0,573	0,386	-0,874	1

Для кокса Макеевского КХЗ были выявлены следующие зависимости: обратная для CRI/CSR (-0,950); обратная для CSR/A<sup>c</sup> (-0,431); обратная для

$M_{25}/M_{10}$  (-0,578); прямая для  $M_{25}/>80$  мм (0,523); прямая для  $CRI/A^c$  (0,426); обратная для  $CSR/>80$  мм (-0,343); прямая для  $CRI/>80$  мм (0,329).

Для определения коэффициентов парной корреляции по компонентам технического состава кокса, его показателей  $CSR$ ,  $CRI$ ,  $M_{25}$ ,  $M_{10}$ , выхода фракций  $>80$  мм и  $<25$  мм Енакиевского КХЗ было проведено 1016 опытов. Такое количество превышает установленную норму опытов и является представительным.

Для кокса Енакиевского КХЗ были выявлены следующие зависимости: обратная для  $CRI/CSR$  (-0,874); обратная для  $CSR/S$  (-0,584); обратная для  $CSR/>80$  (-0,669); обратная для  $CSR/<25$  мм (-0,49); прямая для  $CRI/S$  (0,562); прямая для  $CRI/>80$  мм (0,573); обратная для  $M_{25}/M_{10}$  (-0,624); прямая для  $M_{10}/<25$  мм (0,414).

Следующим этапом является составление общей таблицы 3.7, в которую были внесены обнаруженные зависимости при корреляции, по всем вышеизложенным производителям кокса.

Таблица 3.7 – Общие корреляционные зависимости для всех производителей кокса

Зависимость	Производитель (КХЗ)		
	Ясиновский	Макеевский	Енакиевский
$CSR/CRI$	-0,973	-0,950	-0,874
$M_{25}/M_{10}$	-0,912	-0,578	-0,624
$CSR/ 80$ мм	-0,324	-0,343	-0,669

Были выявлены следующие зависимости, характерные для технического анализа кокса всех производителей – отношение  $CSR/CRI$ ,  $M_{25}/M_{10}$  и  $CSR/ 80$  мм.

Согласно данным таблицы 3.7, в зависимости  $CSR/CRI$  можно отметить тесную отрицательную линейную связь; числа находятся в одном числовом промежутке – разница между минимальным и максимальным значением составляет 0,099 единиц (10,17%). В зависимости  $M_{25}/M_{10}$  присутствует

отрицательная линейная зависимость, однако, разница между минимальным и максимальным значением составляет 0,334 единиц (или 36,62%). В корреляционной зависимости CSR/ 80 мм присутствует отрицательная средняя линейная зависимость; разница между минимальным и максимальным значением велика и составляет 0,345 (51,57%).

Проанализировав полученные данные из таблиц 3.4-3.7, можно сделать следующие выводы:

1. для всех трех производителей кокса имеются общие равнонаправленные корреляционные зависимости, а именно: CSR/CRI;  $M_{25}/M_{10}$ ; CSR/ 80 мм;

2. некоторые корреляционные зависимости одних производителей выражены лучше, чем у других; поэтому, следует говорить о разных технических и шихтовых условиях на этих трех предприятиях;

3. в некоторых случаях, технический анализ кокса имеет незначительное влияние на формирование показателя горячей и холодной прочностей, реакционной способности кокса и выхода фракций >80 мм и <25 мм;

4. в условиях ЯсинКХЗ зола играет существенную роль в формировании показателей CSR, CRI и выхода фракций >80; для улучшения вышеуказанных показателей, рекомендуется провести работу по снижению содержания золы в готовом продукте;

5. в условиях МакКХЗ влага играет существенную роль в формировании показателей CSR, CRI и выхода фракций >80; для улучшения вышеуказанных показателей, рекомендуется провести работу по снижению содержания влаги в готовом продукте;

6. в условиях ЕКХЗ сера играет существенную роль в формировании показателей CSR, CRI и выхода фракций >80; для улучшения вышеуказанных показателей, рекомендуется провести работу по снижению содержания серы в готовом продукте;

7. в связи с отсутствием данных по используемым для коксования маркам угля, не представляется возможным провести анализ зависимостей показателей качества угля и от марок используемых углей, и от доли этих марок в коксуемой смеси.

*Влияние подготовки металлургического кокса на ТЭП доменной плавки.* Эффективность доменной плавки зависит от предварительной подготовки материалов по фракционному составу, от расхода топлива, от уровня производительности печи и т.п. Подготовка металлургического кокса к доменной плавке и его качество имеют первостепенное значение при формировании эффективной работы доменной печи.

Улучшение качества металлургического кокса в мире ведется по таким направлениям:

- подбор лучшей коксующейся шихты и оптимизация пропорции коксующихся марок углей;
- сухое тушение кокса;
- трамбовка угольной шихты перед коксованием;
- подготовка кокса по фракционному составу.

Улучшение качества кокса приводит к снижению содержания фракции >80 мм, как наиболее хрупкой, и <10 мм, что положительно сказывается на показателях CSR, CRI, холодной прочностей  $M_{25}$  и  $M_{10}$ . Куски кокса становятся более однородными по фракционному составу. Улучшение ТЭП осуществляется за счет использования более качественного кокса; ввод коксового орешка в железорудную линзу, в случае использования качественных шихтовых материалов, также улучшает показатели доменной плавки.

В мире, на лучших металлургических предприятиях, широко распространена технология подготовки кокса по фракционному составу и использование материала с показателем  $CSR \approx 70-75\%$ ; осуществляется ввод в железорудную часть коксового орешка в количестве 30-100 кг/т чугуна и более [5, 51].

Исследовательской группой профессора Ярошевского было доказано, что применение подготовленного по фракционному составу кокса, при одновременном вводе коксового орешка в железорудную часть в количестве 20-30% от расхода кокса, приводит к улучшению газопроницаемости столба шихты на 11,5-13,5%. Использование коксового орешка фракцией 10-40 мм, в количестве до 50% от расхода кокса, приводит к снижению перепада давления газа в общем слое шихты на 22-24% [51, 52].

На Енакиевском металлургическом заводе была реализована подготовка по фракционному составу металлургического кокса, с выделением из отсева мелочи коксового орешка фракцией 15-35 мм (15-40 мм). Комплекс мероприятий по подготовке кокса на ЕМЗ направлен на увеличение доли фракции 40-80 мм в скиповом коксе; как следствие, увеличивается однородность кокса, ведущая к улучшению показателей ТЭП. Расход коксового орешка составляет 30-40 кг/т чугуна.

Согласно данным технологической инструкции доменного цеха ЕМЗ, улучшение качества кокса по показателям  $M_{25}$  и  $M_{10}$  на 1% дает следующие результаты:

- для  $M_{25}$ : снижение расхода кокса на 0,6% и увеличение производительности печи на 0,6%;
- для  $M_{10}$ : снижение расхода кокса на 2,8% и увеличение производительности печи на 2,8%;

В таблицах 3.8 и 3.9 приведен технический анализ кокса, используемый в доменном цехе ЕМЗ.

Таблица 3.8 – Технический анализ кокса за июль 2018 г.

Название	Качество кокса, %								
	W	A	S	$M_{25}$	$M_{10}$	80	25	CSR	CRI
ЕКХП (КДМ 2)	4,0	11,5	1,0	87,1	7,4	12,7	3,2	41,6	38,8
ЯКХЗ	4,7	11,4	0,8	86,9	7,8	13,8	3,9	42,9	37,4
МакКХЗ	4,8	11,1	1,0	88,1	7,8	9,4	4,0	41,6	38,5



Таблица 3.9 – Технический анализ кокса август 2018 г.

Название	Качество кокса, %								
	W	A	S	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	80	25	CSR	CRI
ЕКХП (КДМ 2)	3,8	11,4	0,9	87,5	7,4	12,4	3,2	42,0	38,7
ЯКХЗ	4,2	11,6	0,9	86,2	7,9	14,6	3,8	42,4	38,0
МакКХЗ	4,9	11,8	0,9	85,9	7,8	9,9	4,0	41,5	38,7

Как видно из таблиц, показатель M<sub>25</sub> зачастую не превышает 88-89%, показатель M<sub>10</sub> – на уровне 7,5-8%; показатели CSR и CRI составляют 40-43% и 38-39% соответственно. Приход фракции >80 мм составляет 10-15%, что является негативным фактором, который приводит к увеличению образования мелочи в столбе шихты, ухудшает однородность кокса и порозность насадки, снижает газопроницаемость столба шихты и увеличивает перепад давления. Все это приводит к ухудшению ТЭП доменных печей №3 и №5.

Из этого следует, что качество металлургического кокса, используемого на Енакиевском металлургическом заводе, является лимитирующим фактором в снижении его расхода путем ввода дополнительных, замещающих его, видов топлива (ПУТ и ПГ).

*Опыт применения коксового орешка в доменном цехе.* Технология использования коксового орешка фракцией 15-35 мм на ДП №1 была освоена в 2003 г., на ДП №5 – в 2007 г., на ДП №3 – в 2011 г.

Применение орешка в количестве 25 кг/т чугуна позволило снизить фактический расход металлургического кокса на 10,7 кг/т чугуна за счет улучшения технологического режима плавки (4 кг/т) и снижения потерь кокса при отсеивании мелочи (6,7 кг/т). Степень использования металлургического кокса возросла с 94,5% до 95,6%. Время контакта восстановительных газов с оксидами железа возросло на 0,021 с (5,3%), коэффициент полезного действия тепла в печи возрос на 0,49%; произошло снижение расхода условного топлива на 4,3 кг/т чугуна [41].

В работе [51], для условий Енакиевского металлургического завода, было оценено влияние ввода в железорудную часть собственного коксового орешка в

количестве 2-6,6% от общего расхода топлива (скиповый кокс + коксовый орешек), и совместного (собственный и приобретенный) в количестве от 10 до 30% от общего расхода топлива. Применение собственного коксового орешка в количестве 11,4-37,4 кг/т чугуна дало экономию металлургического кокса в количестве 15,8-19,9 кг/т. Размер ячеек нижнего сита грохота составил 25 и 40 мм.

Применение собственного коксового орешка и покупного, в количестве 10, 20 и 30% (36,2+20,5; 32,3+81,7; 28,5+143,6 кг/т) от расхода кокса, дало следующую, по сравнению с базовым периодом, экономию: 23,8; 32,4; 36,9 кг/т чугуна. Размер ячеек нижнего сита грохота составил 40 мм; фракция полученного коксового орешка составила 10-40 мм [51].

### 3.3 Исследование газодинамики столба шихты на опытной установке в лабораторных условиях

Проблема газопроницаемости в столбе шихты и в зоне когезии, в частности, была затронута в научных работах таких отечественных и зарубежных исследователей, как А.А. Томаш, В.П. Тарасов, М.А. Стефанович, Yu A.B., Dong X.F., Zhang S.J., Pinson D и пр. [53-55].

В связи с тем, что опыты по исследованию газопроницаемости в зоне когезии широко распространены, а результаты – известны, внедрить что-либо новое на данном этапе, в сложившихся условиях, не представляется возможным.

Цели работы. Целью исследования было принято: в лабораторных условиях создать модель «сухой» зоны ДП №2 Донецкого металлургического завода ( $V_{\text{пол}} = 1033 \text{ м}^3$ ); исследовать газодинамику столба шихты, меняя загружаемое количество материала и его гранулометрический состав, а также, регулируя расход вдуваемого воздуха (с постепенным увеличением его расхода); определить влияние ввода различных долей коксового орешка, смешиваемого с агломератом, на газопроницаемость слоя.

Анализ возможности проведения экспериментов в условиях лаборатории. Известно, что на реальных объектах, а именно, доменных печах, потоки газов обладают турбулентным режимом движения; число Рейнольдса ( $Re$ ) достигает 10000, а скорость прохождения газами межкускового пространства составляет около 10 м/с [56].

$$Re = v \quad d_{\text{п}}/\nu, \quad (3.1)$$

где  $v$  - скорость движения газа в межкусковом пространстве, м/с;

$d_{\text{п}}$  - диаметр межкусковых пустот, м;

$\nu$  - кинематическая вязкость газа, м<sup>2</sup>/с.

В связи с тем, что в лабораторных условиях невозможно получить значение числа Рейнольдса, равное значению на печи, необходимо применить принцип автомодельности [57]. Для соблюдения равенства условий на печи и в лабораторной установке, принцип автомодельности позволяет задействовать только определяющие критерии подобия, а не все возможные. При работе с лабораторной установкой следует принять условия, в границах которых определяющий критерий:

- остается постоянным при изменении прочих критериев;
- будет равен определяющему критерию доменной печи (3.3).

Для данного случая, определяющим фактором будет критерий Эйлера, поскольку он находится в прямой зависимости от исследуемого нами перепада давления ( $P$ ) в зернистом слое (3.2):

$$Eu = P/\rho U^2, \quad (3.2)$$

где  $U$  - скорость движения газа в межкусковых пустотах, м/с;

$\rho$  - плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$P$  - перепад давления, Па.

$$Eu_0 \approx Eu_{\text{м}}, \quad (3.3)$$

где  $Eu_0$  - критерий Эйлера для реального образца (печи);

$Eu_{\text{м}}$  - критерий Эйлера для лабораторной модели.

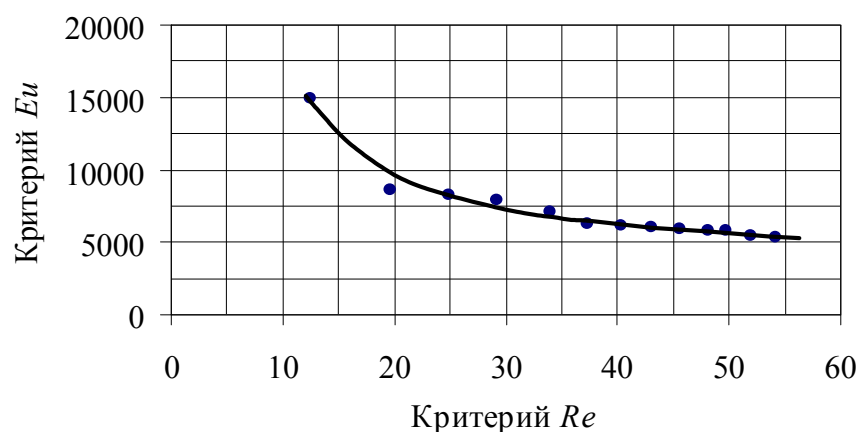


Рисунок 3.3 – Зависимость критерия  $Eu$  от критерия  $Re$

Таким образом, для выполнения лабораторных работ, нами было принято решение оценить и создать условия для ведения опытов согласно условиям автомодельной области (автомодельность критерия  $Eu$  от критерия  $Re$ ). По полученным данным был построен график зависимости критерия  $Eu$  от критерия  $Re$  (рисунок 3.3).

Согласно рисунку 1, при величине критерия  $Re$  от 40 и более, критерий  $Eu$  изменяется не значительно. Расход воздуха в модель был принят на уровне от 85 м<sup>3</sup>/ч.

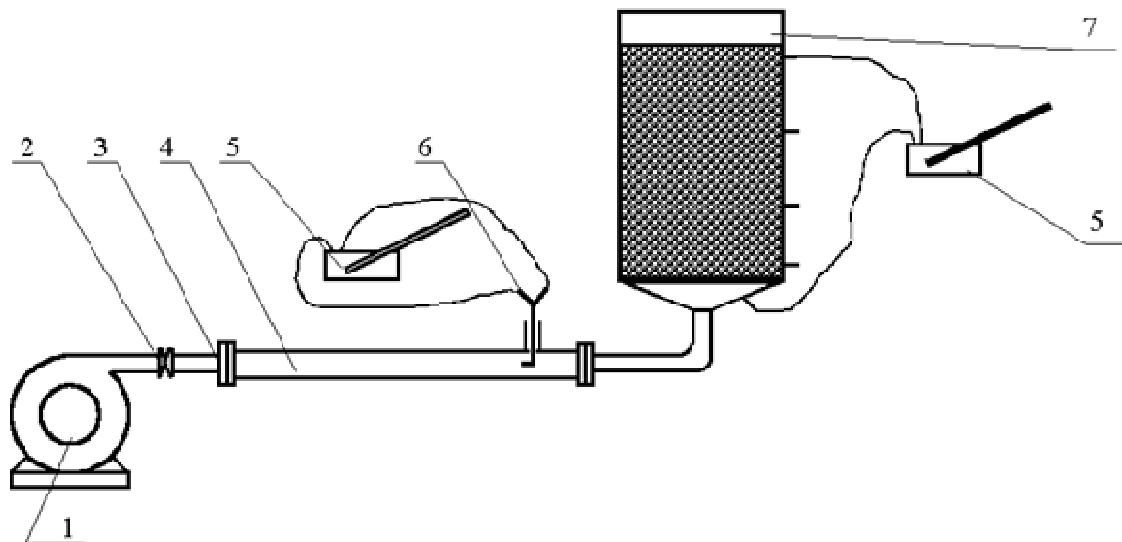
Ход работы. В процессе исследований, на лабораторной модели ( $d=0,2$  м;  $h=0,5$  м), размер которой составляет 1/35 от реального размера «сухой» зоны доменной печи ( $V_{пол} = 1033$  м<sup>3</sup>), было осуществлено определение перепада давления в железорудном слое шихты (рисунок 3.4). В цилиндрическую модель «сухой» зоны, для поддержки шихты, была установлена сетка полутомпаковая 1К с сечением 1х1 мм (ГОСТ 3584-73) (рисунок 3.4).

Измерение перепада давления газа в слое железорудных материалов было осуществлено между нижним горизонтом (поддон, расположенный под сеткой) и верхним (установлен на высоте 450 мм).

Нагнетание воздуха было осуществлено воздуходувкой ( $\Pi=100$  м<sup>3</sup>/ч, или 0,0278 м<sup>3</sup>/с); сечение подвода дутья (трубопровода) составляет 25,4 мм.

В качестве железорудного материала было принято решение использовать мелочь агломерата фракцией 3-5 мм. В связи с тем, что агломерат,

применяемый на предприятиях Донбасса, содержит фракцию <5 мм в количестве 15-25%, для чистоты эксперимента было принято решение подмешать в агломерат фракцией 3-5 мм мелочь агломерата фракцией 1-2 мм в количестве 25% от массы.



- 1 – воздуходувный агрегат; 2 – кран; 3 – переходник; 4 – прямолинейный трубопровод; 5 – микроманометр ММН 240; 6 – трубка Пито; 7 - цилиндрическая модель «сухой» зоны доменной печи.

Рисунок 3.4– Схема установки холодной модели «сухой» зоны доменной печи с неподвижной шихтой:

На основе симплекса был определен размер загружаемого с агломератом коксового орешка, который составил 3-5 мм. Это связано с тем, что размер коксового орешка приблизительно равен размеру агломерата.

В первой стадии была осуществлена продувка смеси агломерата и мелочи агломерата воздухом; количество продувок смеси – 3. Полученные данные были усреднены.

Во второй стадии была осуществлена продувка смеси агломерата, мелочи агломерата и коксового орешка воздухом. Последующие действия – идентичны.

Подаваемый в модель расход воздуха определили по формуле (3.4):

$$Q = A \cdot F \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{дин} \cdot g}{\gamma}} \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.4)$$

где  $A$  - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения скоростей по сечению трубопровода;  
 $F$  - площадь сечения трубопровода, м<sup>2</sup>;  
 $P_{дин}$  - динамический напор, мм. вод. столба;  
 $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $\gamma$  - удельный вес воздуха при определенной температуре, кг/м<sup>3</sup>.

С помощью трубки Пито было определено  $P_{дин}$ ; причем, с целью снижения влияния местного сопротивления и вентиля, трубка Пито была установлена на прямолинейном участке трубопровода сечением 1,5 дюйма, на расстоянии не менее 40 диаметров трубопровода ( $\approx 1,5$  м). Микроманометром ММН-240 определен динамический напор ( $P_{дин}$ ).

Коэффициент пересчета и коэффициент трубки Пито вводится в формулу расчета расхода воздуха в случае определения часового расхода воздуха (3.4):

$$Q = 3600 \cdot A \cdot F \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{дин} \cdot g \cdot K_{Пито}}{\gamma}} \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3.5)$$

где  $K_{Пито}$  - коэффициент трубки Пито.

Истинное значение  $P_{дин}$  было получено при пересчете результатов микроманометра ММН-240 по формуле:

$$P_{дин} = H_{Д} = H_{В} \cdot K_{пр} \cdot n \text{ мм. вод. столба} \quad (3.6)$$

где  $H_{Д}$  - истинное значение микроманометра, мм. вод. столба;  
 $H_{В}$  - отсчет по шкале ММН-240, мм. вод. столба;  
 $K_{пр}$  - постоянная прибора наклона трубки, при которой производились опыты;  
 $n$  - поправка, зависящая от крепости спирта и температуры.

Подставив полученное значение формулы (3.6) в формулу (3.5), имеем:

$$Q = 3600 \cdot A \cdot F \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H_{В} \cdot K_{пр} \cdot n \cdot g \cdot K_{Пито}}{\gamma}} \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3.7)$$

Результаты исследования. С целью определения количества загружаемого коксового орешка в смесь материалов, были проведены расчеты; причем, содержание коксового орешка было рассчитано в зависимости от расхода кокса по весу (коэффициент замены кокса орешком составил 1 кг/кг).

При вводе коксового орешка в железорудную часть произошло увеличение объема полученной смеси – при измерении перепада давления это явление было учтено. Изменение перепада давления газа представлено на неизменный базовый объем железорудной части (рисунок 3.5).

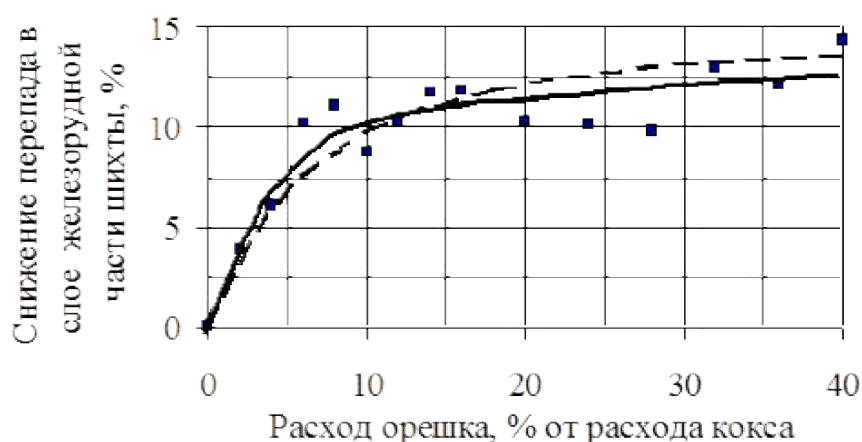


Рисунок 3.5 – Зависимость влияния расхода коксового орешка на перепад давления газа в слое смеси агломерата и коксового орешка

Проведение физического моделирования в лабораторных условиях подтвердило положительное влияние ввода коксового орешка (от расхода кокса) в смесь железорудной части, на газопроницаемость столба шихтовых материалов. Согласно полученным данным и рисунку 3.5, было отмечено, что наиболее весомое снижение перепада давления в столбе шихты было отмечено при вводе первых 10-20% порции коксового орешка.

Вышеописанное подтверждает, что для реальных условий доменной плавки, улучшение газопроницаемости железорудной линзы возможно в случае содержания коксового орешка в смеси с агломератом не менее 10-20%; увеличение содержания коксового орешка до 20-30% в смеси даёт некоторое

дополнительное снижение перепада давления столба шихты и улучшает газопроницаемость железорудной линзы.

Сопоставление аналитической и экспериментальной зависимостей перепада давления газа в столбе материалов от доли коксового орешка в смеси, показало, что полученные зависимости близки как по абсолютным значениям, так и по характеру.

### 3.4 Характеристика работы доменного цеха ЕМЗ за период 2015-2018 гг

Начиная с 2014 года, для металлургических предприятий Донбасса сложилась тяжелая технико-экономическая ситуация. Нарушения в поставках шихтовых материалов, технологического оборудования и комплектующих привели к тому, что предприятия были вынуждены провести серьезные изменения.

Изменения коснулись и Енакиевского металлургического завода. За период с 2015 по 2018 год доменный цех претерпел значительные изменения шихтового режима; изменениям подвергались параметры комбинированного дутья, шлакового режима и т.п. Ниже приведены основные изменения условий доменного цеха Енакиевского металлургического завода:

- переход от окатышей СевГОК и ЦГОК к окатышам Госрезерва;
- прекращение использования агломерата ЮГОК;
- вдувание ПУТ совместно с ПГ и по отдельности;
- снижение теоретической температуры дутья для ДП №3 и №5;
- вывод из строя ДП №1.

В связи с вышеуказанными изменениями, в доменном цехе происходили серьезные изменения, которые повлияли на технико-экономические показатели доменной плавки.

Нами была поставлена задача – провести анализ изменений технико-экономических показателей доменной плавки за период с 2015 по 2018 год (3



года 8 месяцев) и подобрать оптимальные режимы для расчета материально-теплового баланса, с целью выявления наилучшего варианта.

При подборе периодов, оптимальность режима будет заключаться в постоянстве основных показателей ТЭП на протяжении двух месяцев и более.

В качестве оптимальных режимов было принято решение подобрать периоды:

- с работой на скиповом коксе и коксовом орешке, без вдувания дополнительных видов топлива, таких, как ПГ и ПУТ (далее, период 1);
- с работой на скиповом коксе и коксовом орешке, с вдуванием ПГ на фурмы печи (далее, период 2);
- с работой на скиповом коксе и коксовом орешке, с вдуванием ПУТ на фурмы печи (далее, период 3).

Для расчетов было принято решение использовать данные по ДП №3, поскольку она является более новой (ввод в эксплуатацию в 2011 г.), и менее изучена, по сравнению с ДП №5.

Для тщательной оценки технико-экономических показателей выбираемых периодов, было решено построить комплексную диаграмму основных показателей доменной плавки доменной печи №3; временной промежуток составил, как и предполагалось, с 2015 по 2018 год (3 года, 8 месяцев).

На рисунке 3.6 приведены комплексные диаграммы основных показателей доменной плавки для ДП №3.

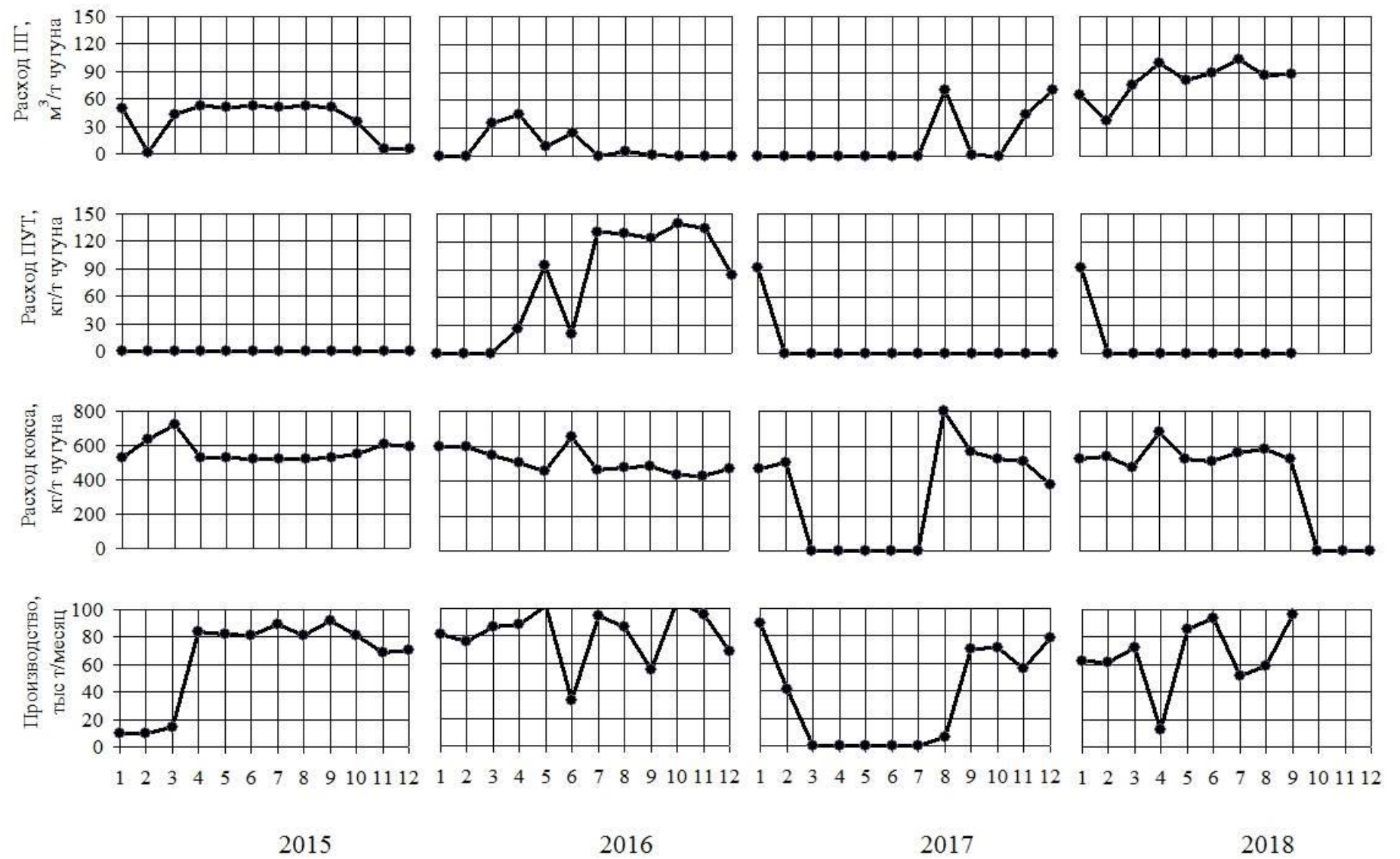


Рисунок 3.6 - Комплексная диаграмма работы доменной печи № 3 ЕМЗ за 2015-2018 гг.

### *Характеристика основных показателей ТЭП ДП №3.*

Как видно из рисунка 3.6, за период с 2015 по 2018 год (3 года 8 месяцев) были отмечены изменения ТЭП доменной печи. Среди изменений можно отметить следующие: доля агломерата в ЖРЧ; расход скипового кокса и орешка; расход ПГ и ПУТ; производство агрегата в месяц. С марта по июль 2017 года произошла остановка печи; в августе 2017 г. – задувка.

Доля агломерата. В 2015 году произошло серьезное изменение доли агломерата в ЖРЧ – от 98,1 (февраль) до 40,9% (сентябрь). В 2016 году максимум содержания агломерата составил 85,8% (июнь); к концу года показатель был на уровне 65-75%. В 2017 году максимум доли агломерата в шихте составил 64,8% (февраль и август); к концу года показатель составил 28%. В 2018 году (9 месяцев) показатель доли агломерата держится на уровне 35-50%.

Расход скипового кокса и орешка. В 2015 году произошло серьезное изменение расхода кокса в начале года (январь-апрель); в остальном, расход кокса оставался без изменений (500-600 кг/т). Расход орешка – постоянен, на уровне 30-40 кг/т. В 2016 расход скипового кокса составлял 500-600 кг/т; к июлю произошло снижение расхода кокса до значений в 400-450 кг/т. Расход орешка – постоянен, на уровне 30-40 кг/т. В 2017 году расход скипового кокса находился в широких пределах и составлял от 360 до 550 кг/т; в августе произошла задувка печи. Произошло снижение расхода орешка – от 40 кг/т до 10-20 кг/т чугуна в конце года. В 2018 году (9 месяцев) показатель расхода кокса держится на уровне 500-600 кг/т чугуна. Ввод коксового орешка был почти полностью прекращен.

Расход ПГ и ПУТ. В 2015 году расход природного газа оставался без изменений (35-55 м<sup>3</sup>/т); в ноябре и декабре произошло прекращение вдувания ПГ. Расход ПУТ – не предусмотрен. В 2016 расходования природного газа не было (исключение, март-июнь). Расходование ПУТ – начиная с апреля, от 20 до 140 кг/т. В 2017 году расход природного газа был в августе, ноябре и декабре. Расход ПУТ был предусмотрен в январе (90 кг/т); после чего, произошло

полное прекращение его вдувания. В 2018 году (9 месяцев) показатель расхода природного газа держится на уровне 65-105 м<sup>3</sup>/т чугуна. Ввод ПУТ был только в январе (90,1 кг/т), после чего произошло его полное прекращение вдувания.

Месячное производство печи. В 2015 году первые три месяца производство было на уровне 10-15 тыс.т./месяц; далее, производство возросло до отметки в 80-90 тыс.т./месяц. В 2016 году производство составляло 75-105 тыс.т./месяц; исключение – июнь и сентябрь (32,9 и 55,0 тыс.т./месяц). В 2017 году производство было на уровне 50-90 тыс.т./месяц. В 2018 году (9 месяцев) показатель производства колебался и был в пределах 50-100 тыс.т./месяц.

Для режима 1 (работа на коксе и орешке) подошел период январь-февраль 2016 года; для режима 2 (работа на коксе, орешке и ПГ) – период апрель-июль 2015 года; для режима 3 (работа на коксе, орешке и ПУТ) – период октябрь-ноябрь 2016 года.

Шихтовые данные по этим периодам были занесены в таблицу 3.13. Полученные при расчете этих режимов данные материально-теплого баланса были занесены в таблицу 3.14.

Помимо этого, в таблицах 3.10-3.12 был приведен анализ используемых в эти периоды следующих материалов: агломерат ЕМЗ; окатыши СевГОК; кокс скиповый.

Таблица 3.10 – Технический анализ кокса трех исследуемых периодов

	Технический анализ, %, мм								
	W	A <sup>c</sup>	S	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	>80	<25	CSR	CRI
Период 1	3,89	10,97	0,98	88,12	7,49	9,47	3,29	53,82	32,38
Период 2	3,88	10,66	1,03	89,16	7,14	9,6	3,28	-	-
Период 3	3,67	10,99	0,85	87,83	7,36	8,29	3,26	49,12	34,63

Как видно из таблицы 3.10, в 2015-2016 гг. технический анализ кокса характеризуется высокими показателями по критериям горячей и холодной

прочностей. Приход фракции >80 мм составил менее 10%. Были созданы благоприятные условия для вдувания дополнительных видов топлива.

Таблица 3.11 – Анализ окатышей СевГОК трех исследуемых периодов

	Технический анализ, %								
	Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	S	P
Период 1	63,78	1,29	89,67	8,02	0,42	1,05	0,44	0,03	0,02
Период 2	63,21	1,98	88,08	7,97	0,96	1,26	0,37	0,03	0,03
Период 3	63,49	1,48	89,06	8,35	0,39	1,06	0,33	0,03	0,02

Как видно из таблицы 3.11, в 2015-2016 гг. технический анализ окатышей СевГОКа характеризуется стабильными показателями по содержанию Fe и прочих элементов.

Таблица 3.12 – Анализ агломерата ЕМЗ трех исследуемых периодов

	Технический анализ, %								
	Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	S	P
Период 1	46,22	11,76	52,97	9,15	20,48	1,98	1,69	0,07	0,04
Период 2	52,92	13,99	60,06	8,19	13,81	1,77	1,66	0,07	0,03
Период 3	54,82	17,92	58,43	8,69	11,91	1,69	1,2	0,07	0,03

Как видно из таблицы 3.12, в 2015-2016 гг. технический анализ агломерата ЕМЗ характеризуется нестабильными показателями по содержанию Fe и прочих элементов; показатель основности колебался в пределах от 1,37 (период 3) до 2,23 единиц (период 1). Приход S и P для трех периодов находится в одном промежутке.

Таблица 3.13 – Данные по шихтовым условиям для трех периодов

	Периоды		
	январь- февраль 2016 г.	апрель- июль 2015 г.	октябрь- ноябрь 2016 г.
Производительность т/сутки	3142,7	2829,0	3176,6
Удельная производительность, т/м <sup>3</sup>	1,828	1,646	1,848
Расход топлива, кг (м <sup>3</sup> )/т чугуна:			
кокс скиповый	564,5	495,6	397,5
коксый орешек	34,6	30,4	34,2
Расход сухих материалов, кг/т чугуна:			
агломерат ЕМЗ	770,7	914,6	814,0
агломерат ЮГОК	0,0	157,5	323,9
конвертерный шлак	57,1	91,7	49,1
окатыши СевГОК	957,3	595,6	520,9
металлодобавки	0,0	16,0	0,0
известняк обычный	48,3	38,5	23,6
брикеты БМ-1	0,0	17,3	0,0
Mn добавки	10,4	17,0	25,5
Дутье:			
расход, м <sup>3</sup> /мин	1583	1460	1256
давление, кПа	2,75	2,68	2,82
температура, °С	910	1099	1100
содержание кислорода, %	20,0	22,2	25,2
природный газ	0,0	51,5	0,0
пылеугольное топливо	0,0	0,0	138,6
Колошниковый газ			
температура	256	261	235
давление, кПа	1,79	1,52	1,78
выход сухого колошникового газа, м <sup>3</sup> /т	2191	2048	1825
Содержание в колошниковом газе, %: CO <sub>2</sub>	16,21	16,9	19,71
CO	24,35	23,5	25,7
H <sub>2</sub>	1,45	3,2	2,0
Содержание в чугуне, %: Si	0,55	0,63	0,6
S	0,06	0,05	0,082
Содержание MgO в шлаке, %	5,7	7,0	5,27
Выход шлака, кг/т чугуна	451	467,0	399,7
Основность шлака, CaO/SiO <sub>2</sub>	1,16	1,14	1,05
<b>Расчетные показатели</b>			
Теоретическая температура, °С	2110	2159	2187
Расход углерода, дошедшего до фурм, кг/т чугуна	347,7	326,8	247,2
Выход горновых газов, м <sup>3</sup> /т чугуна	1931	1917	1689
Степень прямого восстановления, %	52,95	32,74	27,32
Приход серы с шихтой, кг/т чугуна	6,08	7,37	5,06
Степень использования CO, % (расчетная)	39,97	41,83	43,4
Расход условного топлива, кг/т чугуна	606,0	594,0	576,0
К.П.Д. использования тепла печи, %	83,54	85,62	86,74

Таблица 3.14 – Тепловые балансы работы ДП №3 ЕМЗ в трех периодах

Статьи прихода и расхода тепла, кДж/кг чугуна	Периоды					
	январь-февраль 2016 г.		апрель-июль 2015 г.		октябрь-ноябрь 2016 г.	
<b>Приход тепла</b>						
	кДж/кг чугуна	%	кДж/кг чугуна	%	кДж/кг чугуна	%
Теплота горения кокса у фурм	3413,2	31,1	3201,4	28,14	2510,1	22,67
Теплота горения ПУТ	0	0	0	0	843,7	7,62
Теплота горения природного газа	0	0	90,4	0,8	0	0
Теплосодержание ПУТ	0	0	0	0	17,7	0,16
Теплосодержание дутья, за вычетом теплоты разложения влаги дутья	1881,2	17,14	2153,8	18,93	1784,8	16,12
<b>Всего в области горения</b>	<b>5294,5</b>	<b>48,24</b>	<b>5445,6</b>	<b>47,87</b>	<b>5156,3</b>	<b>46,57</b>
Теплота окисления С в СО в процессах прямого восстановления	1178,6	10,74	775,0	6,81	635,5	5,74
Окисление СО в СО <sub>2</sub>	4326,8	39,42	4263,2	37,48	4351,3	39,3
Окисление Н <sub>2</sub> в Н <sub>2</sub> О	175,0	1,59	891	7,83	928,9	8,39
<b>Всего в области восстановления</b>	<b>5680,5</b>	<b>51,76</b>	<b>5929,2</b>	<b>52,13</b>	<b>5915,8</b>	<b>53,43</b>
<b>Общий приход тепла</b>	<b>10975,0</b>	<b>100</b>	<b>11374,8</b>	<b>100</b>	<b>11072,1</b>	<b>100</b>
<b>Расход тепла</b>						
Диссоциация оксидов	7038,26	64,13	7596,09	66,78	7599,62	68,64
Диссоциация сернистых соединений	5,49	0,05	5,69	0,05	4,42	0,04
Диссоциация карбонатов, за вычетом теплоты шлакообразования	53,78	0,49	44,36	0,39	25,56	0,23
Выделение гидратной влаги	0	0	0	0	0	0
Испарение влаги шихты	60,36	0,55	55,74	0,49	48,82	0,44
Теплосодержание чугуна	1256,64	11,45	1255,78	11,04	1255,63	11,34
Теплосодержание шлака	753,98	6,87	781,45	6,87	669,8	6,05
Полезный расход тепла	9168,5	83,54	9739,1	85,62	9603,9	86,74
Нагрев водяных паров до температуры колошника	18,66	0,17	44,36	0,39	32,1	0,29
Теплосодержание сухого колошниковога газа	788,01	7,18	747,33	6,57	606,9	5,48
Потери тепла в окружающее пространство и с охлаждающей водой (по разности)	999,83	9,11	844,01	7,42	829,5	7,49
<b>Общие потери тепла</b>	<b>1806,5</b>	<b>16,46</b>	<b>1635,7</b>	<b>14,38</b>	<b>1468,5</b>	<b>13,26</b>
<b>Общий расход тепла</b>	<b>10975,0</b>	<b>100</b>	<b>11374,8</b>	<b>100</b>	<b>11072,1</b>	<b>100</b>

*Сравнение периода 1 (база) и периода 2 (опытный).* Согласно полученным расчетным данным, внесенным в таблицы 3.13 и 3.14, был проведен анализ изменения условий доменной плавки. Так, по сравнению с периодом 1, в периоде 2 расход скипового кокса снизился с 564,5 до 495,6 кг/т чугуна (12,21% отн.). Расход коксового орешка снизился с 34,6 до 30,4 кг/т

чугуна. Доля агломерата изменилась с 44,6 до 63,03% (29,24% отн.). Доля окатышей снизилась с 55,4 до 35,01% (36,8% отн.). Расход конвертерного шлака возрос на 34,6 кг/т чугуна, а известняка обычного снизился на 9,8 кг/т чугуна. Расход условного топлива снизился с 606 до 594 кг/т чугуна.

*Приход тепла.* Для периода 1 горение кокса у фурм дало 3413,2 кДж/кг чугуна (или 31,1%); теплосодержание дутья конечное дало 1881,2 кДж/кг чугуна (17,14%); теплота окисления С в СО – 1178,6 кДж/кг чугуна (10,74%); окисление СО в СО<sub>2</sub> – 4326,8 кг/т чугуна (39,42%); окисление Н<sub>2</sub> в Н<sub>2</sub>О – 175 кДж/кг чугуна (1,59%). Для периода 2 горение кокса у фурм дало 3201,4 кДж/кг чугуна (или 28,14%); теплосодержание дутья конечное дало 2153,8 кДж/кг чугуна (18,93%); теплота окисления С в СО – 775,0 кДж/кг чугуна (6,81%); окисление СО в СО<sub>2</sub> – 4263,2 кг/т чугуна (37,48%); окисление Н<sub>2</sub> в Н<sub>2</sub>О – 891 кДж/кг чугуна (7,83%).

Как видим, в периоде 2, по сравнению с периодом 1, происходит снижение прихода тепла с горением кокса. Также снижается приход тепла при окислении С в СО; однако, окисление с СО до СО<sub>2</sub>, за счет замещения части кокса природным газом во втором периоде, находится в одном промежутке. За счет прихода Н<sub>2</sub> с природным газом (период 2), происходит увеличение прихода тепла при окислении Н<sub>2</sub> до Н<sub>2</sub>О.

*Расход тепла.* Для периода 1 расход тепла на диссоциацию оксидов составил 7038,26 кДж/кг чугуна (или 64,13%); теплосодержание чугуна составило 1256,64 кДж/кг чугуна (11,45%); теплосодержание шлака составило 753,98 кДж/кг чугуна (6,87%). Полезный расход тепла составил 9168,5 кДж/кг чугуна (83,54%). Общие потери тепла составили 1806,5 кДж/кг чугуна (16,46%), причем, потери тепла в окружающее пространство и с охлаждающей водой – 999,83 кДж/кг чугуна (9,11%). Для периода 2 расход тепла на диссоциацию оксидов составил 7596,09 кДж/кг чугуна (или 66,78%); теплосодержание чугуна составило 1255,78 кДж/кг чугуна (11,04%); теплосодержание шлака составило 781,45 кДж/кг чугуна (6,87%). Полезный расход тепла составил 9739,1 кДж/кг чугуна (85,62%). Общие потери тепла составили 1635,7 кДж/кг чугуна (14,38%),



причем, потери тепла в окружающее пространство и с охлаждающей водой – 844,01 кДж/кг чугуна (7,42%).

Как видим, в периоде 2, по сравнению с периодом 1, происходит увеличение расхода тепла на диссоциацию оксидов, что приводит к увеличению полезной работы тепла в доменной печи. Общие потери тепла и потери тепла в окружающее пространство в периоде 2, за счет улучшения использования тепловой энергии, были снижены. Степень использования СО возросла с 39,97 до 41,83% (4,45% отн.).

*Сравнение периода 1 (база) и периода 3 (опытный).* Согласно полученным расчетным данным, внесенным в таблицы 3.13 и 3.14, был проведен анализ изменения условий доменной плавки. Так, по сравнению с периодом 1, в периоде 3 расход скипового кокса снизился с 564,5 до 397,5 кг/т чугуна (29,58% отн.). Расход коксового орешка снизился с 34,6 до 34,2 кг/т чугуна. Доля агломерата изменилась с 44,6 до 68,6% (34,98% отн.). Доля окатышей снизилась с 55,4 до 31,4% (43,32% отн.). Расход конвертерного шлака снизился на 8 кг/т чугуна, а известняка обычного – на 24,7 кг/т чугуна. Расход условного топлива снизился с 606 до 576 кг/т чугуна.

*Приход тепла.* Для периода 1 горение кокса у фурм дало 3413,2 кДж/кг чугуна (или 31,1%); теплосодержание дутья конечное дало 1881,2 кДж/кг чугуна (17,14%); теплота окисления С в СО – 1178,6 кДж/кг чугуна (10,74%); окисление СО в СО<sub>2</sub> – 4326,8 кг/т чугуна (39,42%); окисление Н<sub>2</sub> в Н<sub>2</sub>О – 175 кДж/кг чугуна (1,59%). Для периода 3 горение кокса у фурм дало 2510,1 кДж/кг чугуна (22,67%); теплосодержание дутья конечное дало 1784,8 кДж/кг чугуна (16,12%); теплота окисления С в СО - 635,5 кДж/кг чугуна (5,74%); окисление СО в СО<sub>2</sub> – 4351,3 кг/т чугуна (39,3%); окисление Н<sub>2</sub> в Н<sub>2</sub>О – 928,9 кДж/кг чугуна (8,39%).

Как видим, в периоде 3, по сравнению с периодом 1, происходит снижение прихода тепла с горением кокса. Также снижается приход тепла при окислении С в СО; однако, окисление с СО до СО<sub>2</sub>, за счет замещения части кокса на ПУТ в третьем периоде, находится в одном промежутке. За счет

прихода  $H_2$  с летучими ПУТ (период 3), происходит увеличение прихода тепла при окислении  $H_2$  до  $H_2O$ .

*Расход тепла.* Для периода 1 расход тепла на диссоциацию оксидов составил 7038,26 кДж/кг чугуна (или 64,13%); теплосодержание чугуна составило 1256,64 кДж/кг чугуна (11,45%); теплосодержание шлака составило 753,98 кДж/кг чугуна (6,87%). Полезный расход тепла составил 9168,5 кДж/кг чугуна (83,54%). Общие потери тепла составили 1806,5 кДж/кг чугуна (16,46%), причем, потери тепла в окружающее пространство и с охлаждающей водой – 999,83 кДж/кг чугуна (9,11%). Для периода 3 расход тепла на диссоциацию оксидов составил 7599,62 кДж/кг чугуна (или 68,64%); теплосодержание чугуна составило 1255,63 кДж/кг чугуна (11,34%); теплосодержание шлака составило 669,8 кДж/кг чугуна (6,05%). Полезный расход тепла составил 9603,9 кДж/кг чугуна (86,74%). Общие потери тепла составили 1468,5 кДж/кг чугуна (13,26%), причем, потери тепла в окружающее пространство и с охлаждающей водой – 829,5 кДж/кг чугуна (7,49%).

Как видим, в периоде 3, по сравнению с периодом 1, происходит увеличение расхода тепла на диссоциацию оксидов, что приводит к увеличению полезной работы тепла в доменной печи. Общие потери тепла и потери тепла в окружающее пространство в периоде 3, за счет улучшения использования тепловой энергии, были снижены. Степень использования  $CO$  возросла с 39,97 до 43,4% (7,9% отн.).

## Выводы по главе

1. В доменном цехе Енакиевского металлургического завода была создана современная схема подготовки шихтовых материалов к доменной плавке. В основу этой схемы входит подготовка кокса, агломерата и окатышей по фракционному составу. Для кокса – выделение фракций  $>80$  и  $<20$  мм; для окатышей и агломерата – выделение фракции  $<5$  мм. Высев из отхода коксовой мелочи коксового орешка (фракция 15-35(40) мм) и его ввод в смесь с агломератом позволяет улучшить газопроницаемость рудной линзы и снизить верхний и общий перепады давления в столбе шихты;

2. Строительство СОКа позволило улучшить качество кокса посредством снижения прихода фракций  $>80$  и  $<20$  мм. При этом возросла однородность кокса (увеличилась доля фракций 40-60 и 60-80 мм), приход мелочи и её образование вследствие разрушения фракции  $>80$  мм снизилось. Однако, без проведения мероприятий по улучшению качества кокса в процессе подбора шихты и её коксования, дальнейшая работа по улучшению технического анализа кокса невозможна;

3. При анализе корреляционных коэффициентов было выявлено, что на технический анализ получаемого кокса влияют следующие компоненты: для ЯсинКХЗ – зола; для МакКХЗ – влага; для ЕКХЗ – сера. Вышеперечисленные компоненты влияют на формирование показателей CSR, CRI и выход фракции  $>80$  мм. Проведение работы, направленной на снижение воздействия этих элементов, позволит получить кокс более высокого качества;

4. При замещении части скипового кокса ПУТ-ом произошло снижение расхода условного топлива. Возрос расход тепла на диссоциацию оксидов и общий полезный расход тепла; степень использования газа СО выросла на 7,9% отн. За счет лучшего использования тепловой энергии, общие потери тепла в периоде 3 были снижены на 19,44% отн. Расход кокса в периоде 3 был снижен на 167 кг/т кокса (или 29,58% отн.).

#### 4 Безопасность в доменном цехе при подготовке шихтовых материалов к доменной плавке

Внедрение комплекса мероприятий по охране труда на предприятии является первоочередной задачей лиц и организаций, отвечающих на этом предприятии за создание нормальных условий труда для рабочих и вспомогательного персонала.

Доменное производство представляет собой совокупность сложных устройств и механизмов, позволяющих переработать кусковые рудные материалы в чугуны. Высокий уровень автоматизации и механизации в доменном цехе способствует снижению уровня контакта человека с опасными и вредными факторами. Процесс плавки чугуна проходит одновременно с такими мероприятиями, как выделение токсичного газа, пыли, излучения, избыточного тепла; внедрение мероприятий, повышающих автоматизацию и механизацию на опасных участках производства, наряду с соблюдением рабочими и вспомогательным персоналом правил и норм, прописанных в СНиП, ГОСТ и ДСТУ, позволяет создать нормальные условия труда, что, в свою очередь, снижает вероятность контакта человека с вышеописанными опасными явлениями и минимизирует возникновение профессиональных заболеваний.

Помимо этого, для создания нормальных условий труда должны быть соблюдены мероприятия по обустройству предприятия (конструкция зданий, освещение, вентиляция, планировка); ввод технологий и мероприятий по замене человеческого труда машинами на опасных участках является обязательным условием на современном, отвечающем всем требованиям, предприятии [58].

Охрана труда для рабочих и вспомогательного персонала составлена из следующих нормативных документов, представленных в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень действующих инструкций по охране труда (ОТ) на предприятии и в доменном цехе

№ инструкции	Наименование инструкции (профессии)
02/1	Инструкция по ОТ для бункеровщика доменного цеха (ДЦ)
02/2	Инструкция по ОТ для бригадира бункеров доменного цеха
02/3	Инструкция по ОТ для машиниста вагон-весов
02/4	Инструкция по ОТ для машиниста шихтоподачи
02/5	Инструкция по ОТ для газовщика доменного цеха
02/6	Инструкция по ОТ для уборщика отходов мет производства ДЦ
02/7	Инструкция по ОТ для горнового доменного цеха
02/8	Инструкция по ОТ для водопроводчика доменного цеха
02/9	Инструкция по ОТ для ковшевого участка депо очистки ковшей ДЦ
02/10	Инструкция по ОТ для машиниста разливочных машин ДЦ
02/11	Инструкция по ОТ для электромонтера по ремонту и обслуживанию электрооборудования доменного цеха
02/12	Инструкция по ОТ для ковшевого доменного цеха
02/14	Инструкция по ОТ для бригадира разливочных машин ДЦ
02/15	Инструкция по ОТ для огнеупорщика доменного цеха
02/16	Инструкция по ОТ для электросварщика ручной сварки
02/17	Инструкция по ОТ для газосварщика доменного цеха
02/18	Инструкция по ОТ для слесаря-ремонтника доменного цеха
02/19	Инструкция по ОТ для слесаря-инструментальщика ДЦ
02/20	Инструкция по ОТ для водителя автопогрузчика
02/22	Инструкция по ОТ для машиниста экскаватора участка депо очистки ковшей доменного цеха
02/23	Инструкция по ОТ при выполнении работ толкателем ТМ-16
02/25	Инструкция по ОТ при выполнении работ с использованием N <sub>2</sub>
1	Инструкция по ОТ по передвижению и поведению на территории «ЕМЗ»
2	Инструкция по ОТ по оказанию доврачебной помощи при несчастных случаях
3	Инструкция по ОТ для работающих на средствах вычислительной техники
4	Инструкция по ОТ для подкрановых рабочих
5	Инструкция по ОТ для машинистов электрических кранов мостового типа
11	Инструкция по ОТ для работников, занятых на очистке железнодорожных путей и стрелочных переводов от мусора и снега
13	Инструкция по ОТ для водителя автотранспортных средств
15	Инструкция по ОТ при выполнении работ в колодцах, тоннелях, траншеях, канализационных сетях
16	Инструкция по ОТ для рабочих по управлению грузоподъемными машинами с пола
18	Инструкция по ОТ при эксплуатации ручного электрифицированного инструмента
19	Инструкция по ОТ при выполнении газоопасных работ

Стоит отметить такие документы, как ГОСТ 12.3.002-75 «ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности»; НПАОТ 27.1-1.02-97 «Правила безопасности в доменном производстве»;

НПАОТ 27.0-1.01-08 «Правила охраны труда в металлургической промышленности»; НПАОТ 0.00-1.01-07 «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов».

Технология подготовки шихты в доменном цехе Енакиевского металлургического завода. Подробная схема подготовки шихты была приведена в разделе 2. С точки зрения технологического развития доменного процесса, и охраны труда, в частности, стоит отметить следующие преимущества конвейерной транспортировки шихты, по сравнению с вагон-весами:

- снижение количества бункеров для агломерата и добавок, и, как следствие, снижение точек пылеобразования, что приводит к улучшению санитарно-техническим нормам;
- наличие рукавов на лентах, снижающий распространение пыли;
- снижение роли участия человека в процессе транспортировки материалов;
- наличие гидросмыва;
- применение централизованной вентиляционной системы с трехступенчатой очисткой воздуха от пыли;
- приток воздуха.

Получение коксового орешка осуществляется в подбункерных помещениях, на грохотах инерционного типа ГИ-22, путем высева фракции 10-35(40) мм из отсева мелкофракционного кокса. Полученный коксовый орешек скипом транспортируется в бункер коксового орешка (бункера добавок). Далее, орешек дозируется и подается в смеси с агломератом на печь.

К опасным и вредным факторам на рабочих местах в доменном цехе можно отнести следующее: загазованность воздуха; пылеобразование; шум; избыточное тепло; излучение; пожарная опасность; рабочие механизмы.

В таблице 4.2 приведена характеристика вредных воздействий в доменном цехе Енакиевского металлургического завода.

Таблица 4.2 – Характеристика вредных воздействий в доменном цехе Енакиевского металлургического завода

Наименование производственного участка, рабочего места	Потенциально опасные производственные факторы	Предельно допустимые концентрации (ПДК, ПДУ)	Основные сантехнические и технологические меры безопасности
1. Бункера, подбункерное помещение доменной печи	1. Повышенная запыленность, мг/м <sup>3</sup> ; 2. Движущиеся машины и механизмы (вагон-весы и трансферкары; 3. Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более; 4. Опасное напряжение; 5. Высота (течки, проемы)	4,0 В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005-88 140	Использование СИЗ, в т.ч. лица и глаз по ГОСТ 12.4.010-75; ГОСТ 12.4.013-85; ДСТУ 7238.2011;
2. Поддоменник печи	1. Повышенная загазованность рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup> ; 2. Высота	20,0 10,0	Использование СИЗ по ГОСТ 12.4.010-75; ДСТУ 7238.2011; ДСТУ 7239.2011
3. Литейный двор	1. Повышенная интенсивность теплового излучения, связанного с выпуском жидкого чугуна и шлака, Вт/м <sup>2</sup> , не более; 2. Брызги жидкого чугуна и шлака; 3. Движущиеся механизмы; 4. Повышенная температура продуктов плавки; 5. Нагретое до высокой температуры оборудование и инструменты; 6. Повышенная загазованность рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup> : CO; SO <sub>2</sub> ; окислы железа (в пересчете на Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ); 7. Горячие остатки продуктов плавки в желобах и канавах	140 Исключение случаев поражения брызгами чугуна и шлака  20,0; 10,0; 6,0	Использование СИЗ по ГОСТ 12.4.010-75; ГОСТ 12.4.029-76; ДСТУ 2772-94 (ГОСТ 12.4.032-95); ДСТУ 7238.2011; ДСТУ 7239.2011
4. Шахта печи	1. Повышенная загазованность рабочей зоны: CO, мг/м <sup>3</sup> ; 2. Высота	20,0	Использование СИЗ по ГОСТ 12.4.010-75; ДСТУ 7238.2011;
5. Колошник печи	1. Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны	В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005-88; ГОСТ 12.1.007-76	Использование СИЗ, в т.ч. лица и глаз, по ГОСТ 12.4.010-75; ДСТУ 7238.2011;

Образование пыли происходит на рудном дворе, складе окатышей и кокса на бункерной эстакаде при разгрузке шихтовых материалов, в подбункерных помещениях при наборе и взвешивании шихты, в скиповой яме, на аглофабрике при производстве агломерата. Интенсивность пылеобразования зависит от типа используемой системы шихтоподачи и от качества шихты.

Пыль характеризуется следующими показателями: высокая дисперсность (<4 мкм); высокое содержание углерода, окислов кремния и железа ( $\text{Fe}_x\text{O}_y$  – 35,6-96,4%,  $\text{Ca}_x\text{O}_y$  – 3-16,4%,  $\text{Mg}_x\text{O}_y$  – 1,3-1,6%,  $\text{Mn}_x\text{O}_y$  – 0,4-3%,  $\text{SiO}_2$  – 5,4-19% (свободный – 0,6-8%), С – 1,5-4%.

Действие пыли на организм зависит от физико-химических свойств, дисперсности, концентрации и токсичности. Фракция <10 мкм попадает в легкие. Наличие в воздухе такой пыли может вызвать заболевания дыхательных путей. Пыль негативно действует и на производственную обстановку, а именно – ухудшает видимость и ориентирование в пределах рабочей зоны; также приводит к быстрому изнашиванию трущихся частей машин. Пыль может быть взрывоопасной и являться источником статических зарядов электричества.

Загазованность. Доменный газ характеризуется следующими факторами: не имеет цвета; не имеет запаха (наличие газа СО определяется анализатором); удельный вес доменного газа равен весу воздуха (распространение ДГ осуществляется по горизонтали, а не вверх).

Работать в атмосфере, содержащей СО, рекомендуется в следующем режиме:

- при содержании  $5 \text{ мг/м}^3$  СО в воздухе – работать не более 1 ч;
- при  $10 \text{ мг/м}^3$  СО в воздухе – работать не более 30 мин;
- при  $20 \text{ мг/м}^3$  СО в воздухе – работать не более 15 мин;

В случае, если ПДК оксида углерода в воздухе рабочей зоны превышает  $20 \text{ мг/м}^3$ , необходимо иметь при себе газоанализатор; работать в группе от 2-х человек, под присмотром газоспасателя либо члена ДГСД; при наличии газозащитного оборудования (либо в нем). ПДК по прочим составляющим ДГ прописаны в таблице 4.3.



Таблица 4.3 – ПДК вредных газообразных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование	СО	Н <sub>2</sub> S	Н <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	Оксиды марганца, пересчет в MnO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	фенол
					аэрозоль дезинтеграции	аэрозоль конденсации			
Количество, мг/м <sup>3</sup>	20	10	1	20	0,3	0,05	10	0,01	0,3

Работа с подветренной стороны значительно уменьшает опасность отравления доменным газом.

Шум является раздражающим фактором, действующим на нервную систему человека; мешает нормально выполнять работу и воспринимать звуковые сигналы и речь.

В доменном цехе сосредоточено большое количество источников образования шума. Среди всех источников можно выделить: конвейера; грохота коксовые и для ЖРЧ; вибропитатели; мотор-генераторы машинных залов; вагон-весы; вентиляционные установки (таблица 4.4)

Таблица 4.4 – Пример источников шума в подбункерных помещениях

Источник шума	Показатель, дБА	
Привод скипа	109	
Инерционный грохот коксовый	115	
Пластинчатый конвейер	104	
Вибропитатель	агломерата	111
	окатышей	115
Барабанный питатель	101	
Питатель-грохот электровибрационный	114	
Вагон-весы	открытого типа	101
	закрытого типа	95

Вибрация образуется при работе вибронакопителей и виброгрохотов, при движении поездов по бункерной эстакаде и вагон-весов и т.п. Негативно влияет на самочувствие человека, а при постоянной работе человека в такой среде – вызывает профессиональные заболевания.

Правила работы сотрудников, при воздействии вибрации, прописаны в ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» и санитарных нормах СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях и общественных зданиях».

В случае длительного пребывания под действием шума и вибрации, превышающих допустимый уровень в 80 дБа (ГОСТ 12.1.003-83), возникают следующие недомогания: повышение давления, снижение остроты зрения, слуха, нарушение работы опорно-двигательной системы, расстройство нервной и сердечно-сосудистой систем. Тяжелые формы вибрационной болезни ведут к частичной/полной потери работоспособности. Кратковременное воздействие импульсного шума более 150 дБА, приводит к повреждению барабанных перепонок и слуховых косточек, вследствие чего может наступить глухота.

Методы борьбы с вредными и опасными явлениями. Ниже приведены основные меры по обеспечению нормальных условий труда в доменном цехе. Важную роль играют средства индивидуальной защиты (СИЗ) (таблица 4.5). СИЗ состоит из:

- специальная одежда рабочего и вспомогательного персонала;
- приборы и приспособления (газоанализаторы, радиостанции и т.п.);
- приспособления для защиты органов дыхания, слуха, зрения.

Спецодежда. Материал спецодежды: невоспламеняемый; стойкий к механическому воздействию; прочный; мягкий; влагостойкий; гигроскопичный. Костюм для рабочих состоит из двубортного широкого покроя куртки и брюк, которые изготавливают из сукна, брезента или льняных тканей. Защитой голове служит каска из фибры, фибролиста (защита от ударов падающих предметов). Защита ног – специальная обувь; обувь должна легко сниматься с ноги и иметь застёжки (не шнуровку), ходовая часть – рифленая. Для защиты рук – рукавицы (х/б и «вачаги»). Спецовка обеспечивает защиту от таких вредных факторов, как излучение, избыточное тепло, механические воздействия и т.п.

Защита органов зрения. Защита от механических повреждений и попадания пыли – защитные очки с бесцветными небьющимися стеклами.

Защита органов дыхания от пыли. Защиту от попадания пыли и газа в органы дыхательной системы предоставляют противо-аэрозольные респираторы, противопыльные респираторы; от газа – противогазы типа КИП-5, КИП-7, Урал-1. Раз в смену выдается респиратор-лепесток ШВ.

Защита органов слуха. Защиту органов слуха обеспечивают противозумные вкладыши из материала ФПП-Ш. Фильтр Петрянова (беруши) применяют, если уровень шума на участке превышает 90 дБА.

Таблица 4.5 – Средства индивидуальной защиты и срок службы

Наименование	Срок носки, месяцев
Брюки суконные	3
Куртка суконная	6
Полусапоги кожаные с металлическим носком	6
Шляпа войлочная	6
Каска пластмассовая	до износа
«Вачаги»	1
Респиратор-лепесток ШВ	1 в смену

Важным мероприятием по установлению нормальных условий труда и минимизации шансов возникновения опасных ситуаций в доменном цехе является мониторинг состава и количества доменного газа работниками газоспасательных служб. Газоспасатели отбирают пробы окружающего воздуха и определяют содержание вредных веществ в газоопасных местах 3-ей (поддоменник, литейный двор) группы и содержание кислорода в газоопасных местах 4-ой группы (площадки коллекторов ПГ).

При первых признаках головной боли необходимо сообщить мастеру и выйти на свежий воздух. Повторная работа в условиях повышенного содержания газа СО в воздухе рабочей зоны может производиться с перерывом не менее, чем через 2 часа.

Мероприятия по улучшению условий труда в доменном цехе. Для улучшения условий труда рабочих и вспомогательного персонала, в доменном цехе ЕМЗ был внедрен комплекс мероприятий.

При реконструкции печей №3 и №5, с целью снижения образования пыли в подбункерных помещениях и уменьшения выбросов в атмосферу, были введены в эксплуатацию современные аспирационные системы (в том числе – чешские электрофильтры фирмы ZVVZ). Применение новых аспирационных систем позволило снизить содержание пыли внутри помещений в несколько раз; концентрация пыли на выходе не превышает 50 мг/м<sup>3</sup>.

Помимо очистки воздуха от пыли, были реализованы такие мероприятия:

- автоматическая шихтоподача с отсевом мелочи и кокса перед загрузкой;
- современные загрузочные устройства;
- механизация горновых операций;
- автоматическая система стабилизации и оптимизации нагрева горна и газораспределения на основе контроля влажности кокса, температуры чугуна на выпуске;
- система гидроуборки.

Важным мероприятием, улучшающим условия труда в доменном цехе, а также, снижающим нагрузку на окружающую среду, может стать реконструкция агломерационной фабрики.

Ликвидация аварийных ситуаций. Под руководством главного инженера создается постоянно действующая чрезвычайная оперативная группа для организации работ по ликвидации последствий и катастроф на объекте хозяйствования (металлургическом предприятии). В чрезвычайных условиях группа работает под общей координацией районной (городской) чрезвычайной комиссии.

Ликвидация последствий аварии проводится в 4 этапа:

- принятие экстренных мер, а именно: оповещение и сбор спецгруппы; оценка обстановки; принятие экстренных мер и т.д.;

- оперативное планирование (разведка, уточнение обстановки, расчет необходимых сил и средств и т.д.);
- аварийно-спасательные и другие неотложные работы, а именно: поиск, извлечение, эвакуация пострадавших и т.д. Другие неотложные работы связаны с локализацией аварий, тушением пожаров и т.д.;
- ликвидация последствий аварии (мероприятия по созданию условий для обеспечения жизнедеятельности населения в районе аварии, восстановление функционирования объекта) [58].

## 5 Охрана окружающей среды

Сохранение экологии окружающей среды в современном мире является первоочередной задачей. Внедрение современных мероприятий и технологий, оптимизирующих потребление углеводородного топлива, угля, рудных материалов и пр. будет способствовать снижению выбросов в окружающее пространство таких вредных компонентов, как газообразные вещества и соединения, пыль.

Помимо оптимизации расхода материалов, на предприятиях необходимо провести внедрение мероприятий, позволяющих повторно задействовать отходы производства в цикле производства основной продукции.

Внедрение мероприятий по снижению выбросов вредных веществ в гидросферу Земли позволит сохранить водные ресурсы как источник питьевой воды и для агропромышленности.

Крупными источниками выброса вредных веществ в атмосферу, литосферу и гидросферу являются такие отрасли: металлургическая, горно-обогатительная, топливно-энергетический комплекс и пр.

### Экологическая обстановка на «ЕМЗ»

С целью изучения экологической обстановки в крупных городах и районах Донбасса, ведомством Госкомэкополитики были проведены мониторинговые исследования качества различных компонентов, а именно: атмосферного воздуха; почвенного покрова; поверхностных вод. Для оценки был выбран период с 2012 по 2016-2017 год [59].

Енакиевский металлургический завод остается крупнейшим источником загрязнения окружающей среды, однако, за период с 2012 по 2016 год, количество выбросов вредных веществ было снижено.

Общему улучшению экологической обстановки на Енакиевском металлургическом заводе, и, в городе Енакиево, в частности, за последние 10-15 лет поспособствовало следующее:

- ввод в строй новых доменных печей №5 (2007 г.) и №3 (2011 г.);

- применение конвейерной транспортировки шихтовых материалов;
- современные машины непрерывного литья заготовок;
- пуск аспирационных систем подбункерного помещения и литейного двора;
- системы гидроуборки и т.д.

На рисунке 5.1 приведена диаграмма индекса загрязненности таких городов, как Донецк, Макеевка, Енакиево, Горловка.

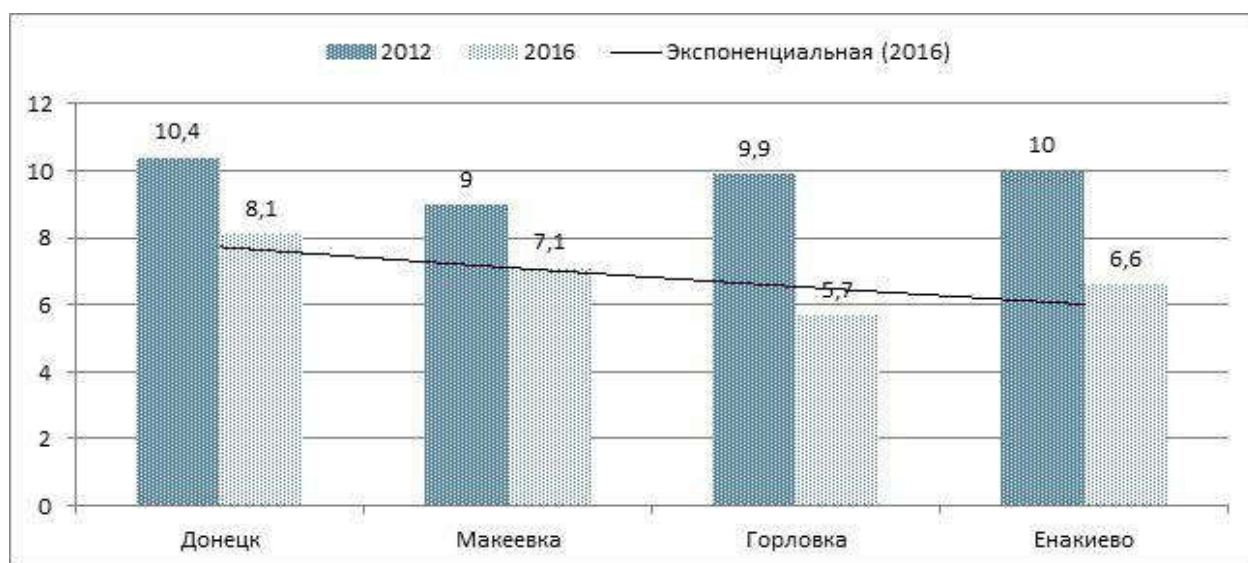


Рисунок 5.1 – Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) в городах Донбасса

Был проведен анализ атмосферного воздуха по содержанию в нем таких вредных примесей, как  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO, формальдегид, фенол, пыль (всего 6 компонентов). Согласно данным гидрометеорологической службы и подведомственных лабораторий, комплексное загрязнение атмосферного воздуха снижается (в 2012 г. показатель ИЗА составил  $>9$ , а в 2016 г. – менее 8) [59, 60].

Защита атмосферы. В доменном цехе ЕМЗ расположены следующие места-источники загрязнения: доменные печи (колошник); система пылеулавливания (пылеуловитель при выгрузке пыли в вагоны); склад окатышей и кокса; бункерная эстакада; аглофабрика; литейный двор и т.п.

В процессе подготовки шихты пыль выделяется при разгрузке вагонов, перегрузке шихты грейферными кранами, подаче шихты на бункера бункерной эстакады, грохочении и додрабливании материалов. Удельный выброс пыли на 1 т чугуна на бункерной эстакаде составляет  $\approx 22$  кг; при высоте выделений 6-15 м концентрация пыли может достигать  $1000 \text{ мг/м}^3$ . Снижение удельных выбросов пыли до  $10 \text{ кг/т}$  реализовано за счет разгрузки и транспортирования сыпучих материалов в закрытых разгрузочных узлах и закрытых галереях (галереи СОК) с объединением аспирационных систем и очисткой запыленных газов в крупных электрофильтрах (подбункерные помещения) [61].

Для подбункерных помещений ДП №3 и №5 была внедрена транспортерная (конвейерная) подача шихты. При транспортерной подаче шихты, условия работы в подбункерном помещении улучшаются, а пылевыведение снижается за счет отсасывания аспирационной системой пыли в количестве  $2,5 \text{ кг/т}$  чугуна. После очистки выброс пыли составляет около  $90 \text{ г/т}$  чугуна [61].

Доменные печи №3 и №5 ПАО «ЕМЗ», введенные в эксплуатацию в 2007 и 2011 г., были оборудованы современной системой аспирации бункерной эстакады и литейного двора. Аспирация газов на ДП №5 происходит в 2-х электрофильтрах чешской компании ZVVZ; в результате запыленность воздуха на выходе составляет не более  $50 \text{ мг/м}^3$ . ДП №3 обладает современной системой аспирации бункерной эстакады и литейного двора, в результате чего выбросы пыли в атмосферу находятся на уровне  $50 \text{ мг/м}^3$  (снижение составило 40%). Очистка газа проводится современными мощными электрофильтрами.

Для дальнейшего снижения пылевыведения на бункерной эстакаде и в подбункерных помещениях, можно применить следующие мероприятия:

- увлажнение сыпучих материалов снижает пылевыведение по всему тракту движения и складирования шихты; увлажнение на складах осуществляется с помощью автоматических стационарных распылителей и специальных автомобилей; расположение и подбор форсунок, давление воды и высота распыления помогают равномерно увлажнить материалы. Каждый



материал имеет свою предельную влажность, при которой не происходит пылевыведение (для пыли – 18-20%) [62];

– применение поверхностно-активных веществ (ПАВ) в узлах загрузки пылящих материалов сокращает выделение пыли: для различных методов разгрузки материалов применяют различные конструкции пылеподавления. Пена, загружаемая в бункера, по мере ссыпания материала поднимается, образуя «крышку», через которую пыль не попадает в атмосферу [62].

Получение коксового орешка при додрабливании и грохочении кокса не оказывает значительного влияния на пылеобразование в подбункерном помещении; не обнаружено увеличение выделения пыли в атмосферу за счет применения мощной аспирационной системы.

Охрана гидросферы. В доменном цехе ЕМЗ присутствуют следующие места загрязнения сточных вод: подбункерное помещение; на участке грануляции шлака; возле машин разливки чугуна; охлаждающая вода с ДП [63].

В подбункерном помещении выделяющаяся пыль просыпается на пол. Пыль и осыпь убирают водой смывом из дырчатых труб и сопел; запыленный воздух от вентиляции очищают водой в специальных аппаратах. Поэтому, в подбункерных помещениях образуются сточные воды от гидросмыва осыпи шихты и пыли со стен, потолка и пола, от очистки воздуха и смыва пыли в устройствах вентиляционной установки [63].

Рекомендуется осуществлять очистку сточных вод из подбункерных помещений в горизонтальном отстойнике такого же типа, что и в прокатных цехах (экономия места) [63].

Вода от уборки пыли и осыпи поступает в подбункерные лотки, устроенные с уклоном 0,03, а из них стекает в отстойник; в этот же отстойник вода поступает с вентиляционной установки. Гидросмыв полов и гребней под транспортером производят один раз в смену, при этом расход воды составляет 180 м<sup>3</sup> на два лотка для одной доменной печи (130 м<sup>3</sup> на 1 т смываемой осыпи и пыли); продолжительность гидросмыва составляет 2,5-3 ч в смену. От

воздухоочистных аппаратов вода поступает непрерывно в количестве 4 м<sup>3</sup>/ч от каждого. Общее количество сточных вод составляет 300-360 м<sup>3</sup>/ч на каждую доменную печь, или около 2 м<sup>3</sup> на 1 т выплавляемого чугуна [63].

Сточная вода с подбункерных помещений загрязнена механическими примесями, среди которых – мелочь агломерата в виде кусочков руды, кокса и известняка размерами до 20-30 мм, пыль крупностью до 0,1-1,5 мм. Общая концентрация механических включений в сточной воде составляет, в среднем, 2 г/л с повышением до 20 г/л [63].

Водоснабжение подбункерных помещений – оборотное, с осветлением воды в отстойнике. Для гидросмыва осыпи и пыли, и для очистки воздуха от пыли, требуется вода с содержанием взвешенных веществ не более 200 мг/л. Осадок из отстойника используют в шихте агломерационной фабрики [63].

По данным исследований харьковского Водоканалниипроекта и практики эксплуатации скорость осаждения взвеси (гидравлическая крупность) может быть принята: для некоагулированной воды  $v_{нк} = 0,2$  мм/сек и для коагулированной  $v_{к} = 0,4$  мм/сек. Для условий ЕМЗ, в качестве коагулянта рекомендуется полиакриламид ПАА дозой 1 мг/л и хлорное железо FeCl<sub>3</sub> дозой 25 мг/л (дополнительно к полиакриламиду) [63].

Получение коксового орешка методом дополнительного дробления, грохочения, отсева не оказывает заметного влияния на гидросферу.

Защита литосферы. В доменном цехе ЕМЗ возможно образование 4 видов пыли и шламов: колошниковая пыль; шламы аспирационных газоочисток подбункерных помещений; шламы мокрых газоочисток технологических газов; графитовая пыль (образуется при выпуске и переливах чугуна).

Пыли и шламы подбункерных помещений содержат, в основном, мелкодисперсные агломерат, известь и кокс. Эти отходы могут утилизироваться на аглофабриках, потому что по химическому составу они сходны со шламами аглофабрик и содержат почти все компонента аглошихты: Fe<sub>общ</sub> -33-35%, SiO<sub>2</sub>-7-11%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-3%, CaO-8-28%, MgO-1-3%, MnO-0,1-1,5%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-0,01-0,2%, S<sub>общ</sub>-0,15-0,4% C<sub>общ</sub> - 15%, Zn-0-0,02% [64]. Большая часть

шламов подбункерных помещений обрабатывают в горизонтальных отстойниках и на дренажных площадках, а после отправляют на рудные дворы аглофабрик. В ряде случаев шламы могут поступать в шламонакопители. Степень утилизации шламов составляет 65% [64].

В дальнейшем, намечается возможность подготавливать эти шламы к утилизации в смеси с другими видами железосодержащих шламов, используя при этом технологическое оборудование обезвоживания шламов агломерационных фабрик [64, 65].

При получении коксового орешка возможно образование некоторого дополнительного количества пыли. Образовавшая пыль улавливается существующей в цехе системой аспирации и отправляется на утилизацию на аглофабрику, вместе с остальными отходами.

Для условий ЕМЗ, с целью утилизации шлама, можно задействовать метод МИСиС: добавка к агломерационной шихте смеси шлама и извести в количестве 5-7% от суммарного расхода аглошихты приводит к удельному повышению производительности агломерационной установки, к тому же, происходит повышение качества получаемого агломерата. Промышленные исследования на ОХМК позволили установить, что добавка шламо-известковой смеси в количестве 2% от удельного расхода шихты позволила увеличить производительность агломашин на 2,5-3%. В случае, если в шламах содержание Zn превысит 10%, то такой шлак можно задействовать в качестве источника цинка [65].

## 6 Экономическое обоснование предлагаемых мероприятий

Себестоимость производимой продукции является важным количественным показателем производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Себестоимость готовой продукции определяет рентабельность производства.

В случае с доменным цехом – это себестоимость одной единицы производимого продукта, то есть, одной тонны чугуна. Себестоимость чугуна является стоимостной оценкой всех затраченных ресурсов на его производство, за вычетом таких получаемых компонентов, как доменный газ, скрап, шлак.

Снижение себестоимости чугуна на предприятии реализуется за счет повышения эффективности производства, использования вторичных ресурсов и т.д.

В работе осуществлен анализ возможности замещения части скипового кокса пылеугольным топливом (ПУТ), без ухудшения условий доменной плавки. В таблице 6.1 приведены шихтовые и дутьевые параметры для производства 1 тонны чугуна на ДП №3. Для оценки экономического эффекта были выбраны два периода: базовый (без ПУТ) и опытный (наличие ПУТ).

В двух исследуемых периодах произошло некоторое изменение технико-экономических показателей доменной плавки вследствие применения разных шихтовых и дутьевых условий. Так, температура дутья возросла с 910 до 1100 °С, а содержание кислорода в дутье возросло с 20,0 до 25,2%; произошло увеличение доли агломерата в железорудной части (ЖРЧ); расход ПУТ увеличился с 0 до 138,6 кг/т чугуна; выход сухого колошникового газа снизился с 2191 до 1825 м<sup>3</sup>/т чугуна.

Произошло снижение выхода шлака с 451 до 399,7 кг/т чугуна; его основность в базовом периоде составила 1,16, в опытном – 1,05 единиц.

Таблица 6.1 – Данные по шихтовым материалам и дутьевым параметрам для производства 1 тонны чугуна в доменной печи №3 «ЕМЗ» объемом 1513 м<sup>3</sup>

Наименование	Цена, за 1 тонну	Период 1 (базовый)	Период 3 (опытный)	Разница,	
				кг/т	рубли
Шихтовые условия					
Кокс скиповый	10204,5	564,5	397,5	-167,0	-1704,15
Коксовый орешек	10163,19	34,6	34,2	-0,4	-4,07
Агломерат ЕМЗ	5359,93	770,7	814,0	43,3	232,08
Агломерат ЮГОК	6498,52	0,0	323,9	323,9	2104,87
Окатыши СевГОК	6953,16	957,3	520,9	-436,4	-3034,36
Конвертерный шлак	226,81	57,1	49,1	-8,0	-1,81
Известняк (С-1)	569,8	48,3	23,6	-24,7	-14,07
Добавки Mn	5377,8	10,4	25,5	15,1	81,2
Дутьевые параметры					
Расход дутья, м <sup>3</sup> /т	288,68	1583	1256	-326,91	-94,37
Содержание O <sub>2</sub> , %		20	25,2		5,2
Расход O <sub>2</sub> на обогащение, м <sup>3</sup> /т	3453,71	12,66	-55,26	-67,92	-234,58
Расход ПУТ	7224,83	0	138,6	138,6	1001,36
Вторичные ресурсы					
Скрап чугунный	3205,88	3	3	0	0
Пыль колошниковая	0,57	29,4	25,8	-4,4	-0,002
Газ доменный на ВНК	839,03	2191	1825	-366	-307,08
Затраты на технологию					
Помол ПУТ	860	0	138,6	138,6	119,2
Получаемый эффект					
Разница,					367,55

Согласно технологической инструкции, содержание O<sub>2</sub> в воздухе составляет 20,8%. В периоде 1 была применена безкислородная технология дутья (замещение O<sub>2</sub> азотом; содержание O<sub>2</sub> дутья составило 20%).

Мероприятия, направленные на повышение температуры дутья с 910 до 1100 °С, составили 404,91 руб./тонну чугуна.

Годовая экономия от внедрения технологии пылевдувания составит:

$$EK_{\text{год}} = P_{\text{год}} \text{ Затрат,} \quad (6.1)$$

где  $EK_{\text{год}}$  – годовая экономия, руб./год;

$P_{\text{год}}$  – годовая производительность доменной печи, млн.т. чугуна;

Затрат – снижение себестоимости чугуна после внедрения технологии ПУТ, руб./т чугуна.

Годовая производительность ДП №3, с учетом количества рабочих дней (350), составляет 1,4 млн.т. чугуна. Годовая производительность ДП №5, с учетом количества рабочих дней (350), составляет 1,02 млн.т. чугуна.

$$EK_{\text{№3 год}} = 1,4 \cdot 10^6 \cdot 367,55 = 514,57 \cdot 10^6 \text{ руб./год} \quad (6.2)$$

В случае, если и на ДП №5 будет внедрена технология пылевдувания, при сходных шихтовых и дутьевых условиях с ДП №3, можно получить следующий годовой экономический эффект (6.3):

$$EK_{\text{№3-5 год}} = (1,4 + 1,02) \cdot 10^6 \cdot 367,55 = 889,471 \cdot 10^6 \text{ руб./год} \quad (6.3)$$

Для полной реализации технологии пылевдувания в условиях доменного цеха, а именно, увеличения расхода ПУТ свыше 140 кг/т чугуна на ДП №3 и ДП №5, было принято решение о возведении второго участка комплекса приготовления и подачи ПУТ к печам.

Капиталовложения ( $K_{\text{рек}}$ ) в возведение сооружений, оборудование и его наладку, подключение к коммуникациям и т.п. принимаем (по усредненным расчетам) в 67,5 млн. долларов США. Денежный курс ( $C_{\text{дол.США}}$ ) – 65 руб./доллар США. Капиталовложения составят:

$$K_{\text{рек}} = Z_{\text{общ}} \cdot C_{\text{дол.США}}, \text{ руб.} \quad (6.4)$$

где  $Z_{\text{общ}}$  – общие затраты на строительство, покупку оборудования и т.д., млн.руб.

$$K_{\text{рек}} = 67,5 \cdot 10^6 \cdot 65 = 4,3875 \cdot 10^9 \text{ руб.} \quad (6.5)$$

Следующим этапом будет расчет показателей эффективности капиталовложений (срок окупаемости  $t_{\text{ок}}$ ) и годовой экономический эффект ( $\mathcal{E}_{\text{год}}$ ) по следующим формулам 6.6 и 6.7:

$$t_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{рек}}}{EK_{\text{№3-5 год}}}, \text{ лет} \quad (6.6)$$

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = EK_{\text{№3-5 год}} - (E_n \cdot K_{\text{рек}}) \quad (6.7)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент окупаемости капвложений (берем 0,14)

где  $E_n$  – нормативный коэффициент окупаемости капвложений (берем 0,14)

$$t_{ок} = \frac{43875 \cdot 10^9}{889471 \cdot 10^6} = 493 \approx 5 \text{ лет}$$

$$\Delta_{год} = 889471 \cdot 10^6 \cdot (43875 \cdot 10^9 \cdot 0,14) = 275221 \cdot 10^6 \text{ руб}$$

Дополнительно следует принять срок окупаемости  $t'_{ок}$ , с учетом возможного возврата денежных средств, взятых в кредит под проценты. Полученные данные приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Срок окупаемости с учетом возможного возврата денежных средств, взятых в кредит под проценты

Показатель	Годы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Кредит ( $K_{рек.}$ ) и его остаток на конец года млн.руб.	4387,5	3936,8	3441	2895,6	2295,7	1635,8	909,91	111,43
Проценты по кредиту, млн. руб., (10%)	438,75	393,68	344,1	289,56	229,57	163,58	90,991	11,143
Долг (кредит) с процентами, млн. руб.,	4826,3	4330,5	3785,1	3185,2	2525,3	1799,4	1000,9	122,58
Годовая экономия, возвращаемая кредитору, млн.руб.	889,47	889,47	889,47	889,47	889,47	889,47	889,47	122,58
Остаток долга, млн. руб.	3936,8	3441	2895,6	2295,7	1635,8	909,91	111,43	0

Таблица 6.3 – Сравнение экономических показателей до и после реконструкции

Наименование	Величина
Капиталовложения в реконструкцию, руб.	$4,3875 \cdot 10^9$
Годовая экономия, руб./год	$889,471 \cdot 10^6$
Годовой экономический эффект, руб./год	$275,221 \cdot 10^6$
Срок окупаемости, лет	5
Срок окупаемости при возврате кредита с процентами, лет	8

Как видим из таблиц 6.2 и 6.3, за счет возврата денежных средств, взятых в процент под кредит (кредит взят под 10% годовых), срок окупаемости увеличивается с 5 до 8 лет. Годовая экономия составит  $889,4710$  млн. руб., годовой экономический эффект –  $275,2210$  млн. руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. За 2018 год в мире было произведено 1,239 млрд. тонн чугуна и 1,809 млрд. тонн стали, что больше показателей 2017 года на 5,52% и 4,6% соответственно. Крупнейшие производители – Китай, Япония.
2. В связи с дороговизной кокса, широкое распространение получили: повышение температуры дутья, вдувание ПГ и ПУТ (в большей степени), однако, их увеличение лимитировано состоянием газодинамики столба шихтовых материалов в печи.
3. Состояние газодинамики доменной печи оказывает лимитирующее значение при вдувании дополнительных видов топлива (заменителей кокса) и увеличении температуры дутья.
4. Физическое моделирование в лабораторных условиях подтвердило положительное влияние ввода коксового орешка (от расхода кокса) в смесь железорудной части, на газопроницаемость столба шихтовых материалов. Наиболее весомое снижение перепада давления в столбе шихты было отмечено при вводе первых 10-20% порции коксового орешка;
5. При замене части скипового кокса на ПУТ и вводе компенсирующих мероприятий, происходит увеличение полезной работы тепла в печи. Общие потери и потери тепла в окружающее пространство были снижены. Степень использования СО возросла с 39,97 до 43,4% (7,9% отн.);
6. Получение коксового орешка не оказывает негативного влияния на работу персонала и не приводит к дополнительному загрязнению окружающей среды;
7. За счет возврата денежных средств, взятых в процент под кредит, срок окупаемости увеличивается с 5 до 8 лет. Годовая экономия составит 889,4710 млн. руб., годовой экономический эффект составит 275,2210 млн. руб.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шумилов, К. А. Исследование и разработка методов управления газодинамическим режимом доменной печи воздействием «снизу» / К. А. Шумилов // Труды международной научно-технической конференции «Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна» – Донецк, УНИТЕХ, 2006 г. – С. 226-239.
2. Стефанович, М. А. Анализ хода доменного процесса / М. А. Стефанович. Свердловск: Metallurgizdat, 1963 г. – 286 с.
3. Тарасов, В. П. Газодинамика доменного процесса: 2-изд. перераб. и доп. / В. П. Тарасов. – Metallurgiya, 1990 г. – 216 с.
4. Мировой рынок чугуна и стали [Электронный ресурс]: Информационно-аналитическое обозрение. – Электрон. дан. – Брюссель, 2018 г. – Режим доступа: <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html> - Загл. с экрана.
5. Савчук, Н.А. Доменное производство на рубеже XXI века / Н. А. Савчук, И. Ф. Курунов // Новости черной металлургии за рубежом. Часть II. Приложение 5. – Москва: ОАО «Черметинформация», 2000 г. – 42 с.
6. Движение шихтовых материалов в доменной печи [Электронный ресурс]: Информационно-аналитическое обозрение. – Электрон. дан. – Донецк, 2016 г. – Режим доступа: <https://infopedia.su/18x10999.html> - Загл. с экрана.
7. Ноздрачев, В.А. Перспективы технологии доменной плавки / В. А. Ноздрачев, С. Л. Ярошевский, В. П. Терещенко. – Донецк, 1996 г. – 173 с.
8. Пос С. Проблемы вдувания больших количеств угольной пыли в доменную печь / Пос С., Понгис Н. // Черные металлы, 1991 г. – №9 – С. 63-69.
9. Бабарыкин, Н. Н. Опытная плавка с уменьшенным выходом шлака / Н. Н. Бабарыкин, А. Л. Галатонов, И. И. Сагайдак // Сталь, 1964. – №12. – С. 1069-1079.

10. Некрасов, З. И. Освоение технологии производства и плавка агломерата из концентрата глубокого обогащения / З. И. Некрасов, В. Л. Покрышкин, А. Г. Ульянов // Сталь, 1970. – №3. – С. 202-207.
11. Товаровский, И. Г. Нормативная оценка влияния параметров доменной плавки на расход кокса и производительность / И. Г. Товаровский. // Сталь, 2014. – №5. – С. 4-11.
12. Рамм, А. Н. Современный доменный процесс / А. Н. Рамм // М.: Metallurgia, 1980 г. – 304 с.
13. Жак, Р. М. Применение металлизированного сырья в доменных печах: Обзор. информ. Черная металлургия. Сер. Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу и производство чугуна / Р. М. Жак, А. Н. Пыриков, Г. А. Зинягин // М.: Черметинформация, 1983г. – Вып. 4. – 31 с.
14. Мойкин, В. И. Теплотехнический анализ работы доменной печи на металлизированной шихте методом математического моделирования / В. И. Мойкин, В. А. Боковиков, Н. М. Бабушкин // Сталь, 1978 г. – №11. – С. 982-986.
15. Прокофьев, И. А. Работа доменной печи с использованием освобожденного от мелочи высокоосновного агломерата / И. А. Прокофьев, И. Г. Товаровский, В. И. Бондаренко // Сталь, 1979 г. – №5. – С. 332-333.
16. Основные пути снижения расхода кокса в современных условиях [Электронный ресурс]: Информационно-аналитическое обозрение. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.webkursovik.ru/kartgotrab.asp?id=-153325> - Загл. с экрана.
17. Производство металлизированных окатышей [Электронный ресурс]: Информационно-аналитическое обозрение. – Электрон. дан. –Режим доступа: [http://emchezgia.ru/syrye/22\\_Proizvodstvo\\_metallizovannyh\\_okatyshyei.php](http://emchezgia.ru/syrye/22_Proizvodstvo_metallizovannyh_okatyshyei.php) - Загл. с экрана.
18. Grosspietsch K.-H., Lungen H. B., Dauwels G., Ferstl A., Karjalahti, Negro P., Van der Veldeb V., Willmers R. Coke Quality Requirements by European Blast Furnance Operators on the Turn of the Millenium. 4-th European Coke and Ironmaking Congress June 19-22, 2000. Paris, la Defance, France. Proceeding. First volume. P. 2-11.

19. Курунов, И. Ф. Готовые материалы, кокс, эксплуатация и показатели работы доменных печей / И. Ф. Курунов // Сталь, 2001 г. – №3. – С. 7-13.
20. Влияние свойств шлаков на работу печи [Электронный ресурс]: Информационно-аналитическое обозрение. – Электрон. дан. –Режим доступа: <http://metal-archive.ru/domennyy-process/2124-vliyanie-svoystv-shlakov-na-rabotu-pechi.html> - Загл. с экрана.
21. Влияние богатства проплавляемой шихты на интенсивность доменной плавки / Ю. К. Лебедь, Г. Ю. Крячко, В. В. Кирунец // Международные конференции: Литье: Metallurgia. – Запорожская торгово-промышленная палата, 2017 г.
22. Некрасов, З. И. Опыт применения природного газа в доменном производстве / З. И. Некрасов // Бюл. ЦНИИИЧМ, 1962 г. – №8.
23. Золотухин, Ю. А. Требования к качеству кокса для доменных печей, работающих с различным удельным расходом пылеугольного топлива / Ю. А. Золотухин, Н. С. Андрейчиков, Я. Б. Куколев // Кокс и химия, 2009. – №3. – С. 11-14.
24. Ярошенко, Ю. Г. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии: учеб. Пособие. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012 г. – 670 с.
25. Перспективы развития коксодоменного передела / В. А. Шаган, И. В. Макарова, Э. М. Манашева [и др.] // Теория и технология металлургического производства, 2015 г. – №2. – С. 5-10.
26. Журавлев, Г. В. Влияние качества кокса при выплавке чугуна / Г. В. Журавлев, Н. Н. Попов, П. О. Коростик // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1970 г. – №4. – С. 28-29.
27. Kasai A, Matsui Y, Shimizu M. Coke Quality Requirements by European Blast Furnance Operators on the Turn of the Millenium. 4-th European Coke and Ironmaking Congress June 19-22, 2000. Paris, la Defance, France. Proceeding. First volume. – P. 218-223.

28. Peters K. H., Peters M. On the Way to a Coke Rate of Less than 300 kg/thm. McMaster Symposium on Iron and Steelmaking №17. Coke Properties Required by the Blast Furnace for Stable Operation. McMaster University Hamilton, Canada, 1989. – P. 324-359.

29. Hardarshan S. Valia. The Comparison of Coke Quality From a By-Product (USA), a Non-Recovery (China), and a Heat Recovery Coke Plant (USA). 4-th European Coke and Ironmaking Congress. June 19-22, 2000. Paris, la Defance, France. Proceeding. First volume. – P. 148-156.

30. Вегман, Е. Ф. Metallurgy chuguna: учебник для вузов/ под ред. Ю. С. Юсфина. М: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 774 с.: ил.

31. Воденников, С. А. Анализ эффективности доменной плавки с заменой кокса пылеугольным топливом / С. А. Воденников, В. Г. Аносов, Д. А. Лаптев // Metallurgy, 2012 г. – №28 – С 38-41.

32. Коробов, И. И. О возможности использования мелкого кокса в современной доменной технологии / И. И. Коробов, К. И. Котов, С. И. Пинчук [и др.]. // Metallurgical and Iron and Steel Industry, 1969 г. – № 5. – С. 40-43.

33. Смоляк, В. А. Выплавка ферромарганца в доменной печи с применением кокса мелкой фракции / В. А. Смоляк, Ю. Ф. Яшин, Б. В. Щербицкий. // Metallurgical and Iron and Steel Industry, 1971 г. – № 3. – С. 8-10.

34. Логинов, В. И. Влияние смешивания рудного сырья с коксом на газодинамические условия и технико-экономические показатели доменной плавки / В. И. Логинов, А. Л. Верин, С. М. Соломатин [и др.]. // Steel, 1977 г. – № 5. – С. 391-394.

35. Логинов, В. И. Опытные плавки при загрузке доменных печей смесью кокса и агломерата // В. И. Логинов, С. М. Соломатин, А. Т. Корж. // Metallurg, 1976 г. – № 4. – С. 14-18.

36. Логинов, В. И. Работа доменных печей при совместной загрузке железорудных материалов и кокса в скип / В. И. Логинов, К. А. Мусяенко, Д. В. Воронков [и др.]. // Сталь, 1987 г. – № 12. – С. 7-12.
37. Ярошевский, С. Л. Эффективность технологии доменной плавки при использовании в шихте коксового орешка / С. Л. Ярошевский, А. М. Кузнецов, А. В. Кузин [и др.]. // Сталь, 2006. – № 3. – С. 2-6.
38. Ухмылова, Г. С. Повышение качества кокса на металлургическом заводе в Порт Камбела, Австралия / Г. С. Ухмылова // Новости черной металлургии за рубежом, 2001. – № 2. – С. 29-32.
39. Ноздрачев, В. А. Развитие технологии вдувания пылеугольного топлива в доменную печь / В. А. Ноздрачев, А. Формосо, А. И. Бабич [и др.]. // Металлург, 1998 г. – № 8. – С. 41-44.
40. Сысоев, Н. П. Оценка влияния на доменную плавку кокса фракции менее 40 мм / Н. П. Сысоев [и др.]. // Труды V Международного конгресса доменщиков «Производство чугуна на рубеже столетий», Днепропетровск – Кривой Рог, 7-12 июня, 1999 г. – Днепропетровск: Пороги, 1999 – С. 216-218.
41. Эффективность использования кокса фракции менее 40 мм в доменной плавке / С. Л. Ярошевский, В. А. Ноздрачев, А. П. Чеботарев, В. А. Руденко [и др.]. // Металлург, 2000 г. – № 12. – С. 32-35.
42. Кузин, А. В. Влияние введения твердого восстановителя в железорудный слой на восстановление оксидов железа / А. В. Кузин // Металл и литье Украины, 2013. – № 1. – С. 3-9.
43. Исследования влияния щелочей на физико-химические свойства доменного кокса / В.М. Антипов, А.И. Бондаренко, А.А. Бачинин [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1990. – №3. – С. 8-9.
44. Ефименко, Г. Г. Металлургия чугуна / Г. Г. Ефименко, А. А. Гиммельфарб, В. Е. Левченко // Киев: Вища школа, 1988. – 352 с.
45. Воденников, С. А. Влияние повышенного давления газа на колошнике доменной печи на показатели доменной плавки / С. А. Воденников,

С. А. Гаврилко, Г. А. Громак, Н. В. Личконенко [и др.] // Запорожская Государственная инженерная академия, 2010 г. – С. 5-9.

46. ТИ 226-Д-06-2006. Технологическая инструкция. Ведение доменной печи. Запорожье: ОАО «Запорожсталь», 2006. – 110 с.

47. Арутюнов, И. М. Енакиево: Путеводитель / И. М. Арутюнов. // Донецк, 1969.

48. Большая Советская Энциклопедия / Москва: «Советская энциклопедия», 1969-1978 г.

49. Метинвест. Деятельность. Продукция [Электронный ресурс]: Информационно-аналитическое обозрение. – Электрон. дан. – Мариуполь, 2017 г. – Режим доступа: <https://emz.metinvestholding.com/ru/activity/products> - Загр. с экрана.

50. Метинвест. Расширение линейки углового проката [Электронный ресурс]: Информационно-аналитическое обозрение. – Электрон. дан. – Мариуполь, 2017 г. – Режим доступа: <https://emz.metinvestholding.com/ru/press/news/show/7332> - Загр. с экрана.

51. Кузин, А. Коксовый орешек – компенсирующее мероприятие для улучшения газопроницаемости «сухой» зоны доменной печи / А. В. Кузин // Донецк: ДонНТУ. – Metallургия, 2007 г. – 122 с.

52. Ярошевский, С. Л. Основные принципы расчета и организации технологии доменной плавки при замене дополнительными топливами 30-60% кокса (отечественный и зарубежный опыт)/ С. Л. Ярошевский, З. К. Афанасьева, А. В. Кузин // Творческое наследие Б. И. Китаева: труды Междунар. Науч.-практич. конф. 11-14 февраля 2009 г. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009 г. – С. 138-148.

53. Тарасов, В.П. Теория и технология доменного процесса / В.П. Тарасов // М: Интернет Инжиниринг, 2007 г. – 384 с.

54. Товаровский, И.Г. Эволюция доменного процесса / И.Г. Товаровский, В.П. Лялюк // Днепропетровск: Пороги, 2000 г. – 424 с.

55. Балон, И.Д. Фазовые превращения материалов при доменной плавке / И.Д. Балон, И.В. Буклан, В.Н. Муравьев, В.Н. Никулин // М.: Metallurgy, 1984 г. – 152 с.
56. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский // М.: Дрофа, 2003 г. – 840 с.
57. Ковшов, В.Н. Постановка инженерного эксперимента / В.Н. Ковшов // Киев: Вища школа, 1982 г. – 120 с.
58. Ликвидация последствий аварий и катастроф [Электронный ресурс]: Информационно-аналитическое обозрение. – Электрон. дан. – Москва, 2015 г. – Режим доступа: <http://ohranatrud-ua.ru/grazhdanskaya-oborona/977-likvidatsiya-posledstvij-avarij-i-katastrof.html> - Загр. с экрана.
59. О мониторинговых исследованиях качества различных компонентов окружающей среды. [Электронный ресурс]: Информационно-аналитическое обозрение. – Электрон. дан. – Донецк, 2017 г. – Режим доступа: [http://gkecopoldnr.ru/news\\_040817\\_4/](http://gkecopoldnr.ru/news_040817_4/) - Загл. с экрана.
60. ГОСТ 17.2.1.03-84. Охрана природы. Атмосфера.
61. Старк, С.Б. Газоочистные аппараты и установки в доменном производстве./ С.Б. Старк // М.: Metallurgy, 1990 г. – 400 с.
62. Большина, Е.П. Экология металлургического производства: Курс лекций / Е.П. Большина // Новотроицк: НФ НИТУ МИСиС, 2012 г. – С. 27-28.
63. Шабалин, А.Ф. Очистка и использование сточных вод на предприятиях черной металлургии: 3-изд перераб. и доп. / А. Ф. Шабалин // М.: Metallurgy, 1968 г. – С. 35-126.
64. Толочко, А. И. Утилизация пылей и шламов в черной металлургии. / А. И. Толочко, В. И. Славин, Ю. М. Супрун [и др.]. // Челябинск: Metallurgy, 1990 г. – С. 74-91.
65. Отходы металлургии и их переработка [Электронный ресурс]: Информационно-аналитическое обозрение. – Электрон. дан. – Москва, 2013 г. – Режим доступа: <https://xreferat.com/112/1024-1-othody-metallurgii-i-ih-pererabotka.html> - Загл. с экрана.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Программа расчета газопроницаемости «сухой» зоны



```

File Edit View Insert Format Debug Run Tools Add-Ins Window Help
Project - VBAProject (General) (Declarations)
Ln 37, Col 1

Sub Газодинамика_сухой_зоны()

V_печи = Лист1.Cells(4, 3)
П = Лист1.Cells(10, 5)
t_кг = Лист1.Cells(2, 2)
V_кг = Лист1.Cells(2, 2)
P_дутья = Лист1.Cells(2, 2)
P0 = Лист1.Cells(2, 2)
P_колошник = Лист1.Cells(2, 2)
CO_кг = Лист1.Cells(2, 2)
CO2_кг = Лист1.Cells(2, 2)
H2_кг = Лист1.Cells(2, 2)
N2_кг = Лист1.Cells(2, 2)
H2_гг = Лист1.Cells(2, 2)
Кокс = Лист1.Cells(2, 18)
Кокс_80 = Лист1.Cells(4, 18)
Кокс_80_60 = Лист1.Cells(5, 18)
Кокс_60_40 = Лист1.Cells(6, 18)
Кокс_40_25 = Лист1.Cells(7, 18)
Кокс_25_0 = Лист1.Cells(8, 18)
Агломерат = Лист1.Cells(10, 18)
Агломерат_60 = Лист1.Cells(12, 18)
Агломерат_60_40 = Лист1.Cells(13, 18)
Агломерат_40_25 = Лист1.Cells(14, 18)
Агломерат_25_10 = Лист1.Cells(15, 18)
Агломерат_10_5 = Лист1.Cells(16, 18)
Агломерат_5_0 = Лист1.Cells(17, 18)
Окаыши = Лист1.Cells(19, 18)
Окаыши_5 = Лист1.Cells(21, 18)
Окаыши_5_0 = Лист1.Cells(22, 18)
Известняк = Лист1.Cells(24, 18)
Известняк_60_20 = Лист1.Cells(26, 18)
Известняк_20_0 = Лист1.Cells(27, 18)

If V_печи = 1033 Then
Н_кол = Лист1.Cells(4, 5)
D_кол = Лист1.Cells(4, 6)

```

```

File Edit View Insert Format Debug Run Tools Add-Ins Window Help
Project - VBAProject (General) (Declarations)
Ln 37, Col 1

D_кол = Лист1.Cells(4, 6)
Н_шахты = Лист1.Cells(4, 7)
Н_расп = Лист1.Cells(4, 8)
D_расп = Лист1.Cells(4, 9)
Н_заплекчик = Лист1.Cells(4, 10)
Н_горн = Лист1.Cells(4, 11)
Н_чуг_летка_возд_фурма = Лист1.Cells(4, 12)
Else
If V_печи = 1386 Then
Н_кол = Лист1.Cells(5, 5)
D_кол = Лист1.Cells(5, 6)
Н_шахты = Лист1.Cells(5, 7)
Н_расп = Лист1.Cells(5, 8)
D_расп = Лист1.Cells(5, 9)
Н_заплекчик = Лист1.Cells(5, 10)
Н_горн = Лист1.Cells(5, 11)
Н_чуг_летка_возд_фурма = Лист1.Cells(5, 12)
Else
If V_печи = 1513 Then
Н_кол = Лист1.Cells(6, 5)
D_кол = Лист1.Cells(6, 6)
Н_шахты = Лист1.Cells(6, 7)
Н_расп = Лист1.Cells(6, 8)
D_расп = Лист1.Cells(6, 9)
Н_заплекчик = Лист1.Cells(6, 10)
Н_горн = Лист1.Cells(6, 11)
Н_чуг_летка_возд_фурма = Лист1.Cells(6, 12)
Else
If V_печи = 1719 Then
Н_кол = Лист1.Cells(7, 5)
D_кол = Лист1.Cells(7, 6)
Н_шахты = Лист1.Cells(7, 7)
Н_расп = Лист1.Cells(7, 8)
D_расп = Лист1.Cells(7, 9)
Н_заплекчик = Лист1.Cells(7, 10)
Н_горн = Лист1.Cells(7, 11)
Н_чуг_летка_возд_фурма = Лист1.Cells(7, 12)

```

```
File Edit View Insert Format Debug Run Tools Add-Ins Window Help
Ln190, Col61
(General) Газодинамика сухой зоны

    Н_чуг_летка_возд_фурма = Лист1.Cells(8, 12)
    End If
    End If
    End If
    End If
    End If
F_сух_зоны = Application.WorksheetFunction.Pi * (((D_кол / 2) + (D_расп / 2)) / 2) ^ 2
t_сух_зоны = (t_кп + 1150) / 2
Н_сух_зоны = (Н_кол + Н_шахты)
Н_раб = Н_кол + Н_шахты + Н_расп + Н_заплевчик + (Н_горн - Н_чуг_летка_возд_фурма)
Р_шахты = Р_колошник + (Р_дутья - Р_колошник) * (Н_сух_зоны / Н_раб)
Р_сух_зоны = (Р_колошник + Р_шахты) / 2
V_прив = V_кп * (Pi / (24 * 60 * 60)) * (1 + (t_сух_зоны / 273)) * (P0 / (P0 + Р_сух_зоны))
CO_ш = (CO_кп - CO2_кп) - 4
H2_ш = H2_кп + (H2_гг - H2_кп) * (Н_сух_зоны / Н_раб)
N2_ш = 100 - (CO_ш + 4 + H2_ш)
CO_сух_зоны = (CO_кп + CO_ш) / 2
CO2_сух_зоны = (CO2_кп + 4) / 2
H2_сух_зоны = (H2_кп + H2_ш) / 2
N2_сух_зоны = (N2_кп + N2_ш) / 2
v_газа = ((CO_сух_зоны * vCO) + (CO2_сух_зоны * vCO2) + (H2_сух_зоны * vH2) + (N2_сух_зоны * vN2)) / 100
w_газ_поток = V_прив / (F_сух_зоны * 0.42)
d_куска_кокса = ((0.08 * Кокс_80) + (0.07 * Кокс_80_60) + (0.05 * Кокс_60_40) + (0.033 * Кокс_40_25) + (0.013 * Кокс_25_0)) / 100
d_куска_агломерата = ((0.06 * Агломерат_60) + (0.05 * Агломерат_60_40) + (0.033 * Агломерат_40_25) + (0.0175 * Агломерат_25_10) + (0.008 * Агломерат_10_5) + ((d_куска_окатышей * (0.015 * Окатыши_5) + (0.0025 * Окатыши_5_0)) / 100) / 100
d_куска_известняка = ((0.04 * Известняк_60_20) + (0.01 * Известняк_20_0)) / 100
d_куска_среднего = (((Кокс / 500) * d_куска_кокса) + ((Агломерат / 1750) * d_куска_агломерата) + ((Окатыши / 2000) * d_куска_окатышей) + ((Известняк / 1550) * d_куска_известняка)) / 100
MsgBox ("Определено значение среднего размера куска в сухой зоне, d_куска_среднего =" & d_куска_среднего)
e_пр_кокса = 0.56 + 0.55 * 0.6 * (1 - 0.56)
e_пр_агломерата = 0.24 + 0.35 * 0.2 * (1 - 0.24)
e_пр_смеси = e_пр_агломерата * V_агл + e_пр_кокса * V_кокса
Re = (1 / (1 - e_пр_смеси)) * ((w_газ_поток * d_куска_среднего) / v_газа)
MsgBox ("Определено значение критерия Рейнольдса, Re =" & Re)
Eu = p / (p * U ^ 2)
MsgBox ("Определено значение критерия Эйлера, Eu =" & Eu)

End Sub
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Перевод части текста на французский технический язык

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОКСОВОГО ОРЕШКА В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Впервые схему загрузки коксового орешка в смеси с железорудной частью применили на Днепропетровском металлургическом заводе в 1967 году. Метод заключался в следующем: часть кокса заменили коксовым орешком фракции 10-40 мм в количестве 93-97 кг/т чугуна и загрузили его в смеси с агломератом. Результаты показывают, что внос коксового орешка в количестве 16,3-17,6 % от удельного расхода кокса снижает суммарный расход кокса и коксового орешка на 10,6-58,8 кг/т чугуна (1,82-9,86%) [32].

В 1970 г. на металлургическом комбинате им. Дзержинского на доменной печи объемом 608 м<sup>3</sup>, выплавлявшей ферромарганец, был проведен опыт по замене до 30% кокса коксовым орешком крупностью 40-25 мм. Использование коксового орешка способствовало росту производительности доменной печи на 6-8,4%, снижение расхода кокса составило 70-168 кг/т чугуна (3,4-8,1%) [33].

Под руководством проф. В.И. Логинова проводились исследования по влиянию перемешивания кокса с железорудными материалами. Было доказано, что, по сравнению с послойной укладкой, смешивание агломерата и кокса снижает газодинамическое сопротивление шихты на 12-25%, а в смеси с окатышами - увеличивается на 10% [17]. При загрузке агломерата и кокса в смеси, по сравнению с послойной укладкой, насыпная плотность шихты увеличивается на 10%, объем шихты снижается на 8-15%, повышается степень использования CO на 1-3%, нагрев горна увеличивается – увеличение содержания Si в чугуне [35, 36].

Смесь кокса с агломератом увеличивает производительность печи на 1,5-4,0 % и снижает расход кокса на 4-8 % [35, 36].

Приблизительно в тот же период, польские исследователи предлагали решить проблему использования мелкофракционного кокса, загружая в доменную печь кокс фракцией 20-40 мм.

В 90-х годах XX века в странах Западной Европы, в связи с широким применением технологии ПУТ, почти на всех доменных печах начали применять коксовый орешек фракцией 10-35 мм в количестве 20-100 кг/т

чугуна с целью сохранения оптимального газодинамического режима и высокого уровня производительности. В 2001 г. общепринятой тенденцией в Европе было смешивание коксового орешка фракцией 35-10 мм с шихтой в количестве 100 кг/т чугуна [19, 36].

На мощных доменных печах «POSKO» (Южная Корея) была применена схема дифференцированной загрузки коксового орешка и мелкой железной руды в зону гребня шихты с целью интенсификации процесса восстановления оксидов железа [38, 39].

На доменной печи ОАО «Северсталь» полезным объемом 5580 м<sup>3</sup> загрузку коксового орешка осуществляли на узкую кольцевую зону железорудного слоя. При среднемесечном удельном расходе коксового орешка 14-17 кг/т чугуна, коэффициент замены составил 0,88-0,93 кг/кг [33].

Применение коксового орешка фракцией 25-36 мм в количестве до 30% на Западно-Сибирском металлургическом комбинате повлияло на доменный процесс следующим образом: было обнаружено ухудшение дренажа горна, увеличение удельного расхода кокса на 0,17-0,19% и снижение производительности печи на 0,2-0,4% на каждый загруженный процент мелкофракционного кокса [32]. Ухудшение показателей доменной печи, невысокий коэффициент замены свидетельствовали о значительном содержании в коксе фракции 10-0 мм, несовершенной схемой подготовки кокса [32, 33, 40].

Для оценки эффективности доменной плавки нами были выполнены расчеты перспективных режимов по методике проф. А.Н. Рамма [27]. В расчете было учтено:

- повышение температуры дутья с 910 до 1100 °С;
- расходование агломерата ЮГОК (В=1,61);
- применение улучшенного по фракционному составу кокса;
- снижение основности шлака по CaO/SiO<sub>2</sub> до 1,05;
- снижение основности агломерата ЕМЗ с 2,23 до 1,37;
- повышение содержания Fe в агломерате.

Следует указать следующие изменения, которым подверглись данные таблицы 1.4, а именно: агломерат ЕМЗ с основностью 2,23 и содержанием Fe = 46,22 % в количестве 770,7 кг/т чугуна был заменен агломератом ЕМЗ с основностью 1,37 и содержанием Fe = 54,82 % в количестве 814,0 кг/т чугуна; окатыши СевГОК с основностью менее 0,12 и содержанием Fe = 63,78% в количестве 957,3 кг/т чугуна были частично заменены агломератом ЮГОК основностью 1,61 и содержанием Fe = 54,89 в количестве 324,9 кг/т чугуна; расход окатышей СевГОК снизился с 957,3 кг/т чугуна до 520,9 кг/т чугуна; снизилось потребление конвертерного шлака с 57,1 до 49,1 кг/т чугуна; снизилось потребление известняка с 48,3 до 23,6 кг/т чугуна. Изменения ТЭП доменной плавки были записаны в таблице 1.4.

Мы провели расчеты и выяснили, что при использовании режима расхода ПУТ до 138,7 кг/т чугуна, происходят изменения (по сравнению с базовым периодом). Применение этой технологической схемы позволило снизить потребление кокса на 167,0 кг/т чугуна (29,58%); потребление условного топлива снизилось с 606 до 576 кг/т чугуна (4,95%).

Степень использования газа CO увеличилась с 39,97 до 43,4 % из-за снижения выхода горнового газа на 12,53% и улучшения технологических условий, а также условий восстановления окиси железа, определенных применением ПУТ. Степень прямого восстановления снизилась с 52,95 до 27,32%. Теоретическая температура горения увеличилась на 77 °С из-за увеличения содержания кислорода в дутье с 20,0 до 25,2% (таблица 1.4).

Как видно из таблицы 1.5, в опытном периоде потребление полезного тепла увеличилось с 83,54 до 86,74%; потери тепла в окружающее пространство и с охлаждающей водой (разность) снизились с 9,11 до 7,49%; общая потеря тепла снизилась с 16,46 до 13,26%.

Увеличение расхода ПУТ более 180 кг/т чугуна требует дальнейшего совершенствования технологий, оборудования и реализации мероприятий по повышению качества кокса по показателю CSR  $\approx$  65%, а также улучшения его фракционного состава и расходования коксового орешка [37, 44].

## L'EXPERIENCE DE L'APPLICATION DU COKE NOISETTE DANS LE HAUT FOURNEAU

- l'aggloméré EMZ – produit en Yenakievo ville;
- l'aggloméré JuGOK – produit en Région de Dnipropetrovsk;
- boulettes SevGOK – produit en Région de Dnipropetrovsk.

Les chercheurs ont d'abord appliqué le schéma de chargement du coke noisette dans le mélange du minerai de matières premières à l'usine métallurgique de Dnipropetrovsk en 1967. La méthode était la suivante: une partie du coke remplacée par coke noisette en fraction de 10 à 40 mm en quantité de 93 à 97 kg/t de fonte et est chargée dans le mélange avec l'aggloméré. Les résultats montrent que l'import de coke noisette d'une quantité de 16,3-17,6 % de la consommation spécifique de coke réduit le total de la consommation de coke et de coke noisette sur 10,6-58,8 kg/t de fonte (1,82-9,86%) [32].

En 1970, les chercheurs ont mené une expérience sur le remplacement de 30% du coke par du coke noisette en fraction de 25-40 mm à l'entreprise métallurgique Dzerjinski dans le haut fourneau de volume 608 m<sup>3</sup>, pour la fusion le ferromanganèse. L'utilisation du coke noisette a contribué à la croissance de la productivité du haut fourneau à 6-8,4%. La diminution de la consommation de coke était 70-168 kg/t de fonte (3,4-8,1%) [33].

Le professeur V. I. Loginov et ses collègues ont mené des études sur l'influence du mélange de coke noisette avec du minerai de matières premières. Les chercheurs ont prouvé que, par rapport à la pose de couches, le mélange de l'aggloméré et de coke réduit la résistance gazodynamique de la charge de 12-25%, et un mélange de coke et boulettes l'augmente la résistance gazodynamique de la charge de 10% [34]. Lors du chargement de l'aggloméré et du coke dans le mélange, par rapport à la pose de couches, la densité apparente de la charge l'augmente de 10%, le volume de la charge est réduite de 8 à 15%, l'augmentation le degré d'utilisation CO à 1-3%, l'augmentation le chauffage du creuset – l'augmentation de la teneur en Si dans la fonte [35, 36].

Un mélange de coke avec de l'aggloméré l'augmente la productivité de la haut fourneau à 1,5-4,0 % et réduit la consommation de coke de 4 à 8 % [35, 36].

Environ à la même période, les chercheurs polonais ont suggéré de résoudre le problème de l'utilisation de coke menu en chargeant dans le haut fourneau du coke noisette en fraction de 20-40 mm.

Dans la période de 1990 à 1999 du XX siècle dans les pays d'Europe, en raison de la large utilisation de la technologie de charbon pulvérisé, presque tous les hauts fourneaux ont commencé à appliquer le coke noisette en fraction de 10 à 35 mm en une quantité de 20 à 100 kg/t de fonte pour la conservation optimale de l'état gazodynamique et de haut performance. En 2001, la tendance en Europe généralement acceptée est devenu un mélange de coke noisette en fraction de 35-10 mm en une quantité de 100 kg/t de fonte avec du minerai de lit de fusion [19, 36].

Dans les hauts fourneaux de grande volume de «POSKO» (Corée du Sud), les chercheurs ont utilisé le schéma différencié de chargement du coke noisette et du minerai de matières premières dans la zone du peigne de la charge. Cet événement a intensifié le processus de récupération des oxydes de fer [38, 39].

Les chercheurs ont effectué le chargement du coke noisette dans la zone du peigne de la couche du minerai de matières premières sur le haut fourneau SOCIT anonyme de type ouvert «Severstal» de volume utile 5580 m<sup>3</sup>. La consommation mensuel du coke noisette était 14-17 kg/t de fonte, le coefficient de remplacement du coke par du coke noisette était de 0,88-0,93 kg/kg [33].

Le coke noisette de fraction 25-36 mm en une quantité allant jusqu'à 30% de la consommation de coke influé sur le processus sur l'entreprise métallurgique de Sibérie Occidentale de la manière suivante: la détérioration de drainage du creuset, l'augmentation de la consommation spécifique de coke de 0,17-0,19% et une baisse de performance du haut fourneau à 0,2-0,4% pour chaque fichier chargé est un pourcentage de coke menu [32]. La dégradation d'indicateurs du haut fourneau, à faible coefficient de remplacement montré une forte teneur en coke fraction de 10-0 mm, imparfaite schéma de la séparation de coke [32, 33, 40].



Dans ce travail, nous avons pris 2 périodes (le période de base – janvier-février 2016; le période expérimenté – octobre-novembre 2016) et fait des calculs de mode prospective selon la méthodologie du professeur A. N. Ramm [12] pour évaluer de l'efficacité de la fusion dans le haut fourneau lors de l'utilisation de charbon pulvérisé. Nous avons adopté les modifications suivantes:

- l'augmentation de la température de l'air soufflé avec 910 à 1100 °C;
- consommation de l'aggloméré JuGOK (basicité =1,61);
- l'application de coke amélioré par de la composition fractionnelle;
- la réduction de la basicité de laitier CaO/SiO<sub>2</sub> à 1,05;
- la réduction de la basicité de l'aggloméré EMZ de 2,23 à 1,37;
- l'augmentation de la teneur en Fe dans l'aggloméré;

Nous avons fait des changements dans la composition du lit de fusion: à savoir, l'aggloméré EMZ avec de la basicité de 2,23 et de la teneur en Fe = 46,22% en quantité de 770,7 kg/t de fonte a été remplacé par l'aggloméré EMZ avec de la basicité 1,37 et de la teneur en Fe = 54,82% en quantité de 814,0 kg/t de fonte; les boulettes SevGOK avec de la basicité de mois 0,12 et de la teneur en Fe = 63,78% en quantité de 957,3 kg/t de fonte a été remplacé partiellement par l'aggloméré JuGOK avec de la basicité 1,61 et de la teneur en Fe = 54,89 % en quantité de 323,9 kg/t de fonte; la consommation des boulettes de SevGOK en quantité de 957,3 kg/t de fonte diminué à 520,9 kg/t de fonte; la consommation du laitier convertisseur la réduction de 57,1 à 49,1 kg/t de fonte; de la consommation de carbonate de chaux la réduction de 48,3 à 23,6 kg/t de fonte. J'écris les modifications des indicateurs techniques et économiques dans le tableau 1.4.

Nous avons fait des calculs, et a constaté que l'utilisation du mode de débit de charbon pulvérisé jusqu'à 138,7 kg/t de fonte de fer fait des modifications (par rapport à la période de base). L'application de cette régime technologique a permis de réduit la consommation du coke de 167,0 kg/t de fonte (29,58%);. la consommation conditionnelle de matériau de chauffage la réduction de 606 à 576 kg/t de fonte (4,95%).

Le degré d'utilisation de gaz CO a l'augmenté de 39,97 à 43,4 %, ce qui est une conséquence de réduire le sortie de gaz creuset de 12,53% et l'amélioration des conditions technologiques, ainsi que les conditions de la réduction de l'oxyde de fer, définies en appliquant de charbon pulvérisé. Le degré de réduction direct a diminué de 52,95 à 27,32 % (48,4%). La température théorique de combustion a augmenté de 77 °C en raison de l'augmentation de la teneur d'oxygène dans l'air soufflé de 20,0 à 25,2% (tableau 1.4).

Tableau 1.4 – Le calcul de l'efficacité de la fusion dans le haut fourneau lors de l'application des mesures compensations.

Indicateurs	Périodes	
	base	expérimenté
1	2	3
La productivité, t/par jour	3142,7	3176,6
La consommation des matières à fondre, kg/t de fonte :		
– le coke à skip	564,5	397,5
– le coke noisette	34,6	34,2
– l'aggloméré EMZ	770,7	814,0
– l'aggloméré JuGOK	0,0	323,9
– les boulettes SevGOK	957,3	520,9
– le laitier de convertisseur	57,1	49,1
– le carbonate de chaux	48,3	23,6
– les suppléments de manganèse	10,4	25,5
L'air soufflé:		
– le débit, m <sup>3</sup> /t	1583	1256
– la temperature, °C	910	1100
– la teneur en oxygène, %	20,0	25,2
– la consommation de gaz naturel, m <sup>3</sup> /t de fonte	0,0	0,0
– la consommation de charbon pulvérisé, kg/t de fonte	0,0	138,6
Le degré d'utilisation CO, %	39,97	43,4
La composition chimique de la fonte, % :		
– Si	0,55	0,6
– S	0,06	0,082
La sortie de laitier, kg/t de fonte	451,0	399,7
La basicité de laitier (CaO/SiO <sub>2</sub> )	1,16	1,05
La température théorique de combustion, °C	2110	2187
Le degré de réduction directe du fer, %	52,95	27,32
Le sortie de gaz creuset, m <sup>3</sup> /t de fonte	1931	1689

Comme on peut le voir dans le tableau 1.5, dans la période expérimentée, par rapport à la période de base: consommation de chaleur utile a augmenté de 83,54 à 86,74%; perte de chaleur dans l'espace environnant et avec de l'eau de refroidissement (par différence) a diminué de 9,11 à 7,49% (17,78%); perte totale de chaleur a diminué de 16,46 à 13,26% (19,44%).

Tableau 1.5 – Les balances calorifiques et pertes de chaleur

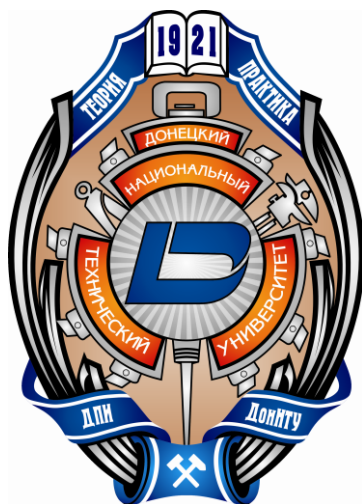
Obtention et coûts de l'énergie thermique, kJ/kg de fonte	Les périodes			
	base		expérimenté	
<b>Balances calorifiques</b>				
	kJ/kg de fonte	%	kJ/kg de fonte	%
La chaleur de la combustion du coke dans les zone des tuyère	3413,2	31,1	2510,1	22,67
Chaleur de combustion du charbon pulvérisé	0	0	843,7	7,62
Teneur en chaleur dans le charbon pulvérisé	0	0	17,7	0,16
Teneur en chaleur du souffle, moins la chaleur de la décomposition de l'humidité du souffle	1881,2	17,14	1784,8	16,12
<b>Total dans la zone de combustion</b>	5294,5	48,24	5156,3	46,57
Chaleur d'oxydation du charbon à CO dans les processus de réduction directe	1178,6	10,74	635,5	5,74
Oxydation du gaz CO à CO <sub>2</sub>	4326,8	39,42	4351,3	39,3
Oxydation du gaz H <sub>2</sub> à H <sub>2</sub> O	175,0	1,59	928,9	8,39
<b>Total dans la zone de récupération des oxydes</b>	5680,5	51,76	5915,8	53,43
<b>Chaleur totale</b>	10975,0	100	11072,1	100
<b>Pertes de chaleur</b>				
La dissociation des oxydes	7038,26	64,13	7599,62	68,64
Teneur en chaleur dans la fonte	1256,64	11,45	1255,63	11,34
Teneur en chaleur dans le laitier	753,98	6,87	669,8	6,05
<b>Consommation de chaleur utile</b>	9168,5	83,54	9603,9	86,74
Teneur en chaleur dans le gaz de gueulard sec	788,01	7,18	606,9	5,48
Perte de chaleur dans l'espace environnant et avec de l'eau refroidissement (par différence)	999,83	9,11	829,5	7,49
<b>Perte totale de chaleur</b>	1806,5	16,46	1468,5	13,26
<b>Consommation totale de chaleur</b>	10975,0	100	11072,1	100

L'augmentation de la consommation de charbon pulvérisé de plus de 180 kg/t de fonte nécessite une plus forte amélioration de la technologie, l'équipement et la mise en œuvre d'activités visant à améliorer la qualité de coke sur l'indicateur de CSR  $\approx$  65%, ainsi que d'améliorer son composition fractionnaire et de la consommation de coke noisette [37, 44].

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Статьи на научно-практические конференции

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ"  
ФИЗИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**



**IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

**«МЕТАЛЛУРГИЯ XXI СТОЛЕТИЯ  
ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ»**

**23-24 МАЯ 2018 года**

**ДОНЕЦК – 2018**

# ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ КОКСОВОГО ОРЕШКА В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ

Яшин И.Н., Кузин А.В.

Донецкий национальный технический университет, г.Донецк, ДНР

Известно, что себестоимость чугуна на 35-45 % зависит от стоимости основного топлива доменной плавки – кокса, поэтому ученые и исследователи всего мира продолжают работы над снижением его удельного расхода в доменных печах.

Одним из наиболее распространенных путей снижения удельного расхода кокса является предварительная подготовка его по фракционному составу. Мероприятие по отсеву из кокса таких фракций, как -25 мм и +80 мм, позволяет повысить качество скипового кокса по таким показателям, как механическая прочность (M40, M25, M10), горячая прочность (CSR) и реакционная способность (CRI). Применение такого мероприятия благоприятно влияет на ход доменной плавки: улучшается газодинамика столба шихты и снижается удельный расход скипового кокса [1].

Подготовка кокса по фракционному составу к доменной плавке предопределяет образование большого количества отсева кокса. Как один из вариантов по рациональному использованию отсева кокса, предлагается его пересеивать с выделением так называемого коксового орешка с последующей загрузкой орешка в доменную печь в смеси с железорудной частью шихты.

Однако, вследствие широкомасштабного внедрения использования коксового орешка в доменной печи за последние 10-15 лет, возникает вопрос как о рациональном его использовании, так и влиянии на доменный процесс.

Цель работы – литературный обзор о применении коксового орешка в доменных печах и его влияние на доменный процесс.

Нами был выполнен анализ основных публикаций по вопросу применения коксового орешка.

Первые опыты по применению коксового орешка относятся к середине прошлого века. Впервые коксовый орешек применили на Днепропетровском металлургическом заводе в 1967 году. Коксовый орешек фракции 10-40 мм в количестве 93-97 кг/т чугуна загрузили в доменные печи в смеси с агломератом. Опыты показали, что введение коксового орешка в количестве 16,3-17,6 % от удельного расхода кокса снижает суммарный расход твердого топлива 1,8-9,9% [2].

Основательные исследования влияния перемешивания кокса с железорудными материалами были выполнены под руководством проф. В.И. Логинова. Показано, что при смешивании кокса с агломератом на 12-25 % уменьшается газодинамическое сопротивление шихты по сравнению с послойной укладкой, наблюдается повышение степени использования СО на 1-3 %. Вследствие выше перечисленных причин, производительность доменной печи увеличивалась на 1,5-4,0 % при снижении расхода кокса на 4-8 % [3].

В доменных печах POSCO (Южная Корея) происходит смешивание коксового орешка с мелкой железной рудой, при дальнейшей дифференцированной загрузке в зону гребня шихты.

Проведены опытно-промышленные плавки по использованию коксового орешка в доменном цехе ОАО «Северсталь». Нарушения газодинамического режима или ухудшение дренажной способности коксовой насадки обнаружены не были. Коэффициент замены кокса коксовым орешком составил 0,895 кг/кг.

Применение коксового орешка на ОАО «ДМЗ» в количестве 27 кг/т чугуна позволило снизить удельный расход кокса с 463 до 455 кг/т чугуна (1,7%). Коэффициент замены в среднем составил 1 кг/кг кокса. Было зафиксировано, что использование коксового орешка создает условия для снижения потерь металлургического кокса – степень использования кокса в доменной печи увеличилась с 93,7 до 94,4%. Таким образом, экономия металлургического кокса на выплавку 1 т чугуна составила 21 кг (4,5%).

Использование коксового орешка фракцией 36-15 мм на доменной печи № 1 «ЕМЗ» в количестве 25 кг/т чугуна способствовало снижению фактического расхода кокса на 10,7 кг/т чугуна, в том числе, на 4,0 кг/т чугуна – за счет совершенствования технологического режима доменной плавки, а 6,7 кг/т чугуна – за счет снижения потерь при высеве мелочи (менее 15 мм) из металлургического кокса.

На доменной печи 3 Kakogawa (фирма Kobe Steel, Япония) проведены исследования по оценке использования коксового орешка в доменной плавке. Показано, что применение коксового орешка различной крупности в смеси с железорудной частью шихты позволило сохранить на периферии неизменный средний размер кусков кокса от уровня засыпи до распара. Так, например, введение в железорудный слой коксового орешка в количестве 17-30 кг/т чугуна средний размер кусков кокса в распаре снижался всего на 1 мм по сравнению с загружаемым коксом, и составил 47 мм. Авторы пришли к выводу о возможности влияния на средний размер кусков кокса по высоте печи за счет оптимизации режима газификации углерода коксового орешка [4].

Исследовательской группой профессора С.Л. Ярошевского было показано, что применение коксового орешка в смеси с железорудной частью позволяет улучшить газопроницаемость железорудной линзы. Оптимальные размеры коксового орешка: нижний – 10-15 мм, верхний – 35-40 мм. Введение первых порций коксового орешка в количестве 20-30 % оказывает положительное влияние на газопроницаемость столба шихтовых материалов: газопроницаемость улучшается на 11,5-13,5 % [5].

Заслуживают внимания работы специалистов Института черной металлургии Аахенского университета (г. Аахен, Германия), которые изучали влияние введение коксового орешка на степень восстановления агломерата и окатышей в условиях, характерных для зоны когезии доменной печи. Восстановлению в атмосфере 30 % CO и 70 % N<sub>2</sub> подвергались железорудные материалы в смеси с коксовым орешком в соотношении 3 к 1, при постоянной температуре. Так, например, при выдержке в течение 120 минут и температуре восстановления

1100°C, введение коксового орешка в слой окатышей позволило повысить их степень восстановления примерно на 25 % [6].

Оценено влияние введение коксового орешка различной крупности в слой окатышей на степень их восстановления. Показано, что при введении в слой окатышей 30 % коксового орешка различной крупности максимальная степень восстановления после нагрева до 1000°C с последующей выдержкой при данной температуре в течение 150 минут наблюдается у коксового орешка сопоставимого с размерами железорудного материала и менее. Введение коксового орешка в железорудную часть шихты будет способствовать более раннему началу протекания реакций восстановления оксидов железа в шахте доменной печи и обеспечит приход в горн более восстановленных железорудных материалов. Данное изменение может способствовать снижению значения оптимальной теоретической температуры горения, содержания кремния в чугуна, участия углерода кокса в реакциях восстановления и т.д. [7].

Таким образом, выполнен литературный анализ применения коксового орешка в доменных печах. Показано, что применение коксового орешка в смеси с железорудной частью шихты позволяет улучшить газопроницаемость рудной части шихты, а также будет способствовать значительной активизации процесса восстановления оксидов железа за счет использования углерода коксового орешка.

#### Литература

1. *Емченко, А.В.* Исследование прочностных свойств кокса различных классов крупности / А.В. Емченко, С.А. Медянец, С.Л. Ярошевский, А.В. Кузин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Металургія. Випуск 14-15 (212) – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – С. 14-19.

2. *Коробов, И.И.* О возможности использования мелкого кокса в современной доменной технологии / И.И. Коробов, К.И. Котов, С.И. Пинчук // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1969. – № 5. – 40-43 с.

3. *Логинов, В.И.* Работа доменной печи при совместной загрузке железорудных материалов и кокса в скип / В.И. Логинов, К.А. Мусиенко, Д.В. Воронков и др. // Сталь. – 1987. – № 12 – С. 7-12.

4. Low Coke Rate Operation of Blast Furnace by Controlling Size of Coke Mixed Into Ore Layer / Muneyoshi S., Kazuya M., Kentaro N. et al. // Proc. The 5th Int. Cong. on the Science and Technology of Ironmaking : ICSTI 2009, Shanghai, China. November, 19–23, 2009. – Shanghai, 2009. – P. 663–667.

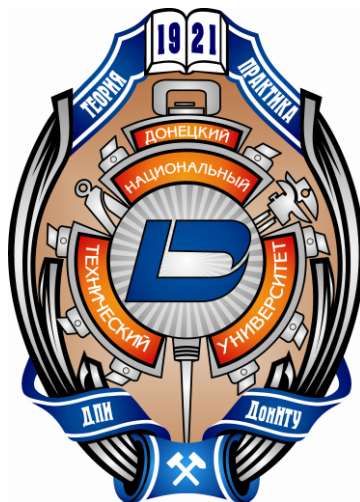
5. *Ярошевский, С.Л.* Производство и использование коксового орешка в доменной плавке / С.Л. Ярошевский, Н.С. Хлапонин, А.М. Кузнецов, А.В. Кузин – Донецк: УНИТЕХ, 2006 – 68 с.

6. *Mousa, E.* Reduction of Pellets-Nut Coke Mixture under Simulating Blast Furnace Conditions / E. Mousa, D. Senk, A. Babich // Steel research international. – 2010. – V. 81. – № 9. – P. 706-715.

7. *Кузин, А.В.* Влияние введения твердого восстановителя в железорудный слой на восстановление оксидов железа / А. В. Кузин // Металл и литье Украины. – 2013. – № 1. – 3-9 с.



**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ"  
ФИЗИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**



**IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

**«МЕТАЛЛУРГИЯ XXI СТОЛЕТИЯ  
ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ»**

**23-24 МАЯ 2018 года**

**ДОНЕЦК – 2018**

# АНАЛИЗ РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ЕНАКИЕВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА В НОВЫХ ШИХТОВЫХ УСЛОВИЯХ

Яшин И.Н., Афанасьева З.К.

Донецкий национальный технический университет, г.Донецк, ДНР

За последние 50 лет, внедрение инноваций и применение компенсирующих мероприятий в доменном производстве позволило странам Запада и Азиатского региона повысить качество готового продукта и снизить его конечную стоимость, что предопределило лидирующее положение этих стран по выпуску чугуна и стали. Стоит отметить следующие тенденции, к которым стремятся доменщики в этих странах: снижение расхода кокса до уровня 250-300 кг/т чугуна; применение высококачественного агломерата с содержанием железа более 57 % и повышенной основностью; повышение температуры дутья до 1200°С и более; применение офлюсованных окатышей; снижение выхода шлака до 250 кг/т чугуна и ниже и др. [1].

Начиная с 50-х годов XX века, работа доменщиков Енакиевского металлургического завода («ЕМЗ») была отмечена многочисленными нововведениями: впервые в СССР проведено «замораживание» доменной печи для научных исследований, производство высокоофлюсованного агломерата, использование комбинированного дутья высоких параметров и др.[2].

За последние двадцать лет, на «ЕМЗ» был внесен вклад в развитие доменного производства: построены две современные доменные печи (№3 и №5); проводится тщательная и качественная подготовка к плавке железорудного сырья и кокса (построен склад окатышей и кокса); отказ от природного газа (ПГ) и интенсивный поиск его замены, например, азотом, паром и, наконец, пылеугольным топливом (ПУТ).

С 2015 г. на предприятии ведется целенаправленная работа по созданию на основе совершенствования подготовки шихты (снижение расхода или вывод из состава шихты сырого известняка, повышение содержания железа и основности в агломерате, снижение содержания мелочи в железорудной части, подготовка кокса к доменной плавке по фракционному составу и др.) и комплекса компенсирующих мероприятий, необходимых для освоения высокоэффективной пылеугольной и малококсовой технологии. В 2016 г. запущен промышленный комплекс по вдуванию ПУТ в доменные печи №5 и №3 и было освоено вдувание ПУТ в количестве 120-130 кг/т чугуна.

В 2016-2017 гг. химический состав агломерата характеризовался достаточно высоким и устойчивым содержанием железа ( $Fe = 54 \pm 0,3 \%$ ) при уровне основности 1,45-1,7 единицы. Отсев мелочи из агломерата на печи дает возможность снизить содержание фракции 5-0 мм до 5-8 % при эффективности грохочения 57,5 %.

В 2017 г. окатыши СевГОК были заменены окатышами Госрезерва, в которых содержание железа на 2,5-4% выше. Железорудная шихта ДП № 5 в авгу-

сте 2017 г. содержала 4,4 % мелочи 5-0 мм, что отвечает мировому уровню, достигнутому при вдувании на 1 т чугуна до 200 кг ПУТ и снижении расхода кокса до 300-350 кг/т чугуна.

В связи с кардинальным изменением шихтовых условий, необходимо выполнить анализ работы доменного цеха в современных шихтовых условиях, при вдувании таких дополнительных топливных добавок, как ПУТ и ПГ.

Цель работы – анализ работы доменной печи Енакиевского металлургического завода в новых шихтовых условиях, при повышении вдувания дополнительных видов топлива.

Для анализа технико-экономических показателей в старых и новых шихтовых условиях, была выбрана работа доменной печи №5 полезным объемом 1513 м<sup>3</sup> в двух периодах: первый период – июль 2016 г., второй – август 2017 г. (новые шихтовые условия) (табл. 1).

Таблица 1 – Основные показатели работы доменной печи №5 «ЕМЗ»

Показатели	Периоды	
	11-31 июля 2016 г.	август 2017 г.
Производство чугуна, т/сутки	2743,1	2981
Расход кокса, кг/т чугуна	480,7	490,8
Расход шихтовых материалов, кг/т чугуна:		
агломерат ЕМЗ	636,2	793,5
агломерат ЮГОК	180,1	0
окатыши СевГОК	824,1	0
окатыши Госрезерв	0	748,9
известняк	44,7	6,9
Дутье:		
расход, м <sup>3</sup> /мин	3186	3124
давление, кПа	257	257
температура, °С	1089	1100
ПГ, м <sup>3</sup> /т чугуна	2,6	71,8
ПУТ, кг/т чугуна	109,6	0
содержание кислорода, %	22,6	22,8
Химический состав чугуна, %:		
Si	0,67	0,49
S	0,07	0,178
Выход шлака, кг/т чугуна	392	310,9

В табл.1 представлены показатели работы доменной печи № 5 в 2016 году (при вдувании ПУТ и на шихте Криворожского бассейна) и в 2017 году (при вдувании ПГ и на шихте российских месторождений).

Как видно из табл. 1, применение окатышей Госрезерва позволило снизить на 1 т чугуна расход сырого известняка с 44,7 до 6,9 кг и, как следствие, снизить выход шлака на 81,1 кг благодаря работе на кислых шлаках и повышенному содержанию серы в чугуне.

Стоит отметить тот факт, что шихтовые условия в 2016 г. неблагоприятны по такому показателю, как выход шлака. Высокий выход шлака снижает пре-

имущества вдувания ПУТ в доменную печь, по сравнению с вдуванием ПГ. Поэтому, с учетом изменения шихтового состава в 2017 году, экономически целесообразным будет возврат к вдуванию ПУТ, при одновременном снижении или выводе из состава дутья ПГ. Применение ПУТ позволяет достичь более высоких технико-экономических показателей (ТЭП) доменной плавки.

Для оценки влияния расхода вдувания дополнительных видов топлива на ТЭП работы доменной печи, выполнен расчет перспективных технологических режимов по программе Excel, на основе методики профессора А.Н. Рамма, для определения влияния на расход кокса и производительность различных факторов режима плавки [3].

За базовый период работы доменной печи выбран август 2017 г. Далее, были выполнены расчеты при постепенном увеличении расхода ПГ до 100 м<sup>3</sup>/т чугуна. Получено снижение расхода кокса до 472,6 кг/т чугуна. Однако, в связи с высокой ценой на ПГ, существенно увеличивается себестоимость чугуна. Вдувание ПГ более 71,8 м<sup>3</sup>/т чугуна (база) не является экономически целесообразным (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние расхода природного газа на себестоимости чугуна

Показатели	Режимы при изменении расхода ПГ, м <sup>3</sup> /т чугуна				
	0	40	71,8 (база)	80	100
Производительность, %	101,2	101,3	100,0	99,5	98,1
Расход кокса, кг/т чугуна	549,2	514,4	490,8	485,3	472,6
Изменение себестоимости, руб/т чугуна	-182,8	-120,2	0	+39,9	+150,5

В связи с вышеизложенным, следующие расчетные режимы были выполнены при работе доменной печи на базовой шихте, при замене пылеугольным топливом природного газа вплоть до полного его отсутствия (табл. 3 и 4). Шихтовые условия остались без изменений, а дутьевые параметры – изменены в сторону увеличения.

Таблица 3 – Изменение показателей ДП №5 при замене части ПГ на ПУТ и увеличении температуры дутья в качестве компенсации

Показатели	Период					
	База	Расход ПУТ, кг/т чугуна				
		40	80	120	160	200
Производительность, %	100	102,4	102,0	101,5	101,0	100,4
Расход кокса, кг/т чугуна	490,8	442,9	415,8	388,7	361,5	334,3
Температура дутья, °С	1100	1200	1200	1200	1200	1200
Расход ПГ, м <sup>3</sup> /т чугуна	71,8	60	45	30	15	0
Изменение себестоимости, руб/т чугуна	0	-393,2	-552,0	-710,2	-867,4	-1023,3
Скорость газа в распаре, м/с	9,88	11,08	12,21	13,9	16,70	22,15

В табл.3 показаны результаты при увеличении температуры дутья до 1200°С, что легко осуществимо благодаря наличию воздухонагревателей Калугина. Полученные результаты дают основания рекомендовать режим с вдувани-

ем 160-180 кг/т чугуна ПУТ, т.к. скорость газа в распаре и уровень теоретической температуры лимитируют дальнейшее повышение расхода ПУТ.

Таблица 4 – Изменение показателей ДП №5 при замене части ПГ на ПУТ и увеличении содержания кислорода в дутье в качестве компенсации

Показатели	Период					
	База	Расход ПУТ, кг/т чугуна				
		40	80	120	160	200
Производительность, %	100	104,6	104,2	103,8	103,3	102,7
Расход кокса, кг/т чугуна	490,8	429,5	402,3	374,9	347,5	320,0
Содержание O <sub>2</sub> в дутье, %	22,8	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Расход ПГ, м <sup>3</sup> /т чугуна	71,8	60	45	30	15	0
Изменение себестоимости, руб/т чугуна	0	-64,1	-227,9	-391,0	-554,2	-715,2
Скорость газа в распаре, м/с	9,88	10,40	11,27	12,50	14,41	17,66

В табл.4 показаны результаты, при увеличении содержания кислорода в дутье (до 25%) и при повышении расхода вдувания ПУТ. Компенсация повышением содержания кислорода привела к следующим результатам на 1 т чугуна: вдувание ПУТ на уровне 200 кг, снижение расхода кокса на 156,5 кг и себестоимости на 715,21 руб.

Таким образом, анализ работы доменной печи в новых шихтовых условиях показал, что замена окатышей СевГОК на окатыши Госрезерв, при изменении дутьевых показателей, позволила снизить на 1 т чугуна расход сырого известняка с 44,7 до 6,9 кг и, как следствие, снизить выход шлака на 81,1 кг. В связи со снижением выхода шлака, созданы благоприятные условия для увеличения расхода ПУТ. Стоит также отметить, что вывод ПГ из состава дутья – самая главная компенсация для увеличения расхода ПУТ.

Результаты расчетов показывают возможность реального освоения технологии вдувания ПУТ в количестве до 200 кг/т чугуна при полном выводе ПГ из состава дутья, в новых шихтовых условиях, при снижении расхода кокса до 330 кг/т чугуна. Однако дальнейшее повышение расхода ПУТ необходимо компенсировать за счет дальнейшего повышения содержания железа в агломерате и его основности, снижения конвертерного шлака до 50 кг/т чугуна, повышения температуры дутья и кислорода в дутье и др.

#### Литература

1. Савчук, Н.А. Доменное производство на рубеже XXI века / Н.А. Савчук, И.Ф. Курунов // Новости черной металлургии за рубежом. Часть II. – 2002. – 42 с.
2. Ярошевский, С.Л. Пылеугольное топливо – реальная и эффективная альтернатива природному газу в металлургии / С.Л. Ярошевский. – Донецк: Норд Компьютер, 2006.– 16 с.
3. Рамм, А.Н. Современный доменный процесс / А.Н. Рамм. – М.: Металлургия. – 1980. – 304 с.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

• • • • • : : : : : **НЕДЕЛЯ**  
• • • • • : : : : : **НАУКИ СПБПУ**  
• • • • • **П** 19–24 ноября 2018 года

**МАТЕРИАЛЫ**  
научной конференции  
с международным участием

**ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ,  
МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА**  
Часть 1



**ПОЛИТЕХ-ПРЕСС**  
Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

Санкт-Петербург  
2018

Кристаллизация реальных отливок протекает при других условиях, отличающихся от кристаллизации в работе [7], о чём свидетельствуют полученные расчётные значения  $\sigma_{Al}$  по разработанной модели (рис. 1,б), изменяющиеся в процессе кристаллизации и имеющие более значительную величину, что говорит о возможном изменении характера кристаллизации в зависимости от условий теплоотвода и толщины отливки.

С увеличением содержания алюминия в сплаве происходит измельчение дендритной структуры металла (рис. 1,а) и расширение интервала кристаллизации сплава (рис. 1,г). В процессе кристаллизации расплав обедняется алюминием (рис. 1,в), что обусловлено тем, что коэффициент распределения алюминия в титане больше единицы.

*Выводы.* Полученная в ходе исследований модель является базовой для прогнозирования хода процессов кристаллизации и расчёта параметров формирующейся структуры на мезоуровне для отливок из титановых сплавов с использованием конечно-разностной геометрической модели отливки как макроансамбля мезоэлементов. При дальнейшей эксплуатации модель должна быть пополнена другими легирующими элементами, а также и неизбежными примесями, которые оказывают существенное влияние на некоторые параметры титановых сплавов даже при небольших концентрациях [8].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Stefanescu D.M. Science and engineering of casting solidification / Doru Michael Stefanescu–Switzerland: Springer, 2015. – 556 p.
2. Golod V.M., Dobosh L.Yu. Computational materials science of structural - phase transformations in casting aluminum alloys. – Int. Conf. "Structural and Phase Transformations in Materials: Theory, Computer Modelling and Experiment", 23–27 March 2017, Ekaterinburg, Russia. –IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 192(2017),012027.
3. Голод В.М., Савельев К.Д. Вычислительная термодинамика в материаловедении. – СПб.,Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 218 с.
4. Савельев К.Д., Голод В. М. Программный комплекс «Polytherm-Ti» // Свид-во о гос. регистр. прогр. ЭВМ(№ 2018618842 от 20.07. 2018 г.)
5. Araki H. Anomalous diffusion of aluminum in  $\beta$ -titanium / H. Araki et al. // Metallurgical and materials transaction A – 1994. – Vol. 25A. – P. 874-876.
6. Bermingham M.J. Microstructure of cast titanium alloys / M.J. Bermingham et al. // Materials Forum, Institute of Materials Engineering Australasia –2007. – Vol 31.–P. 84-89.
7. Nurminen J.I., Brody H.D. Dendrite morphology and microsegregation in titanium base alloys. // Proceedings of the Second International Conference «Titanium science and technology», 2-5 May 1972, Cambridge, Massachusetts. – Plenum press, 1973. – Vol. 3. – P. 1893-1914.
8. Иксанов М.В., Голод В.М. Компьютерный термодинамический анализ литейного титанового сплава системы Ti-Al-V // Сб. трудов конференции «Литейное производство сегодня и завтра» - Санкт-Петербург, 2018 г. – С. 340-346.

УДК 662.749.39:669.173

И.Н. Яшин, А.В. Кузин  
Донецкий национальный технический университет

#### ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ В ЖЕЛЕЗОРУДНЫЙ СЛОЙ КОКСОВОГО ОРЕШКА РАЗЛИЧНОЙ КРУПНОСТИ НА СТЕПЕНЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА

*Введение.* За последние 40-50 лет удельный расход кокса в доменных печах (ДП) был снижен более чем в два раза. Одним из способов повышения эффективности доменной технологии является замена более дорогостоящего кокса дополнительными видами топлива,

в частности, пылеугольным топливом (ПУТ). Однако вдувание ПУТ обуславливает ухудшение газопроницаемости столба шихты. Как один из вариантов улучшения газопроницаемости рудной линзы является введение в нее коксового орешка.

Одним из первых успешных опытов по замене части кокса коксовым орешком (фракцией 10-40 мм) при загрузке его в смеси с агломератом был проведен на одной из ДП Днепропетровского металлургического завода им. Петровского в 1967 г. Показано, что применение коксового орешка в количестве 16,3-17,6% позволило снизить суммарный расход кокса и коксового орешка на 1,82-9,86% [1].

В дальнейшем исследования влияния перемешивания кокса с железорудными материалами были выполнены под руководством проф. В.И. Логинова. Показано, что при смешивании кокса с агломератом производительность ДП увеличивалась на 1,5-4,0% при одновременном снижении расхода кокса на 4-8% [2].

За последние 15-20 лет в Украине и России возрос интерес к использованию коксового орешка в доменной плавке: проведенные исследования показали возможность и эффективность применения такой технологии [3-5].

Подготовка кокса к доменной плавке по фракционному составу и загрузка коксового орешка в количестве до 30 кг/т чугуна в железорудную часть шихты в ПАО «Енакиевский металлургический завод» и ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод» позволили снизить на 1 т чугуна суммарный расход скипового кокса и коксового орешка на 4-8 кг и уменьшить потери кокса в виде отсева на 6,7-13 кг [5, 6].

Теоретические соображения и экспериментальные результаты дают основание рассчитывать на существенную интенсификацию процесса восстановления оксидов железа в железорудном слое при введении в него коксового орешка.

Лабораторные исследования при смешивании агломерата с коксом показали, что максимальная степень использования газа СО наблюдается при применении 10-50% кокса. Краткосрочный опыт такого смешивания на ДП объемом 3200 м<sup>3</sup> показал, что степень использования газа СО повысилась на 2,1%, а степень прямого восстановления снизилась на 4,5% .

В связи с повышением интереса к технологии доменной плавки с использованием коксового орешка возникла необходимость оценить влияние крупности вводимого в железорудный слой коксового орешка на степень восстановления оксидов железа.

Целью работы является оценка влияния введения в железорудный слой шихты коксового орешка различной крупности на степень восстановления железорудного сырья.

Исследования проводили на установке, основным элементом которой является нагревательная электропечь типа СУОЛ. В тигель загружали исследуемый железорудный материал (окатыши СевГМК) навеской 25 г крупностью 3-5 мм. В качестве коксового орешка использовали фракции 5-7, 3-5, 2-3 и 1-2 мм при его постоянном расходе, равном 30 %. В рабочее пространство электропечи, предварительно нагретой до 200°С, устанавливали алундовый тигель с исследуемыми материалами. Сразу после установки тигля в электропечь опускали алундовую трубку, через которую в печь подавали аргон. Далее осуществляли нагрев печи до 1000°С и выдерживали при этой температуре в течение 150 мин. В течение всего опыта автоматическим регулятором контролировали температуру в рабочем пространстве электропечи. Потерю массы контролировали с использованием аналитических весов типа Т-5000 при изменении температуры через каждые 100°С, а при достижении температуры 1000°С и выдержке при данной температуре – каждые 30 мин. По потере веса с учетом стехиометрии выходящих газов оценивали степень восстановления оксидов железа. Кроме того, по окончании опытов исследуемые окатыши подвергались химическому анализу.



Химический анализ восстановленных окатышей показывает, что введение коксового орешка фракций 3-5, 2-3 и 1-2 мм по сравнению с фракцией 5-7 мм способствовало снижению содержания  $Fe_2O_3$  с 35,6 до 14,1-18% и повышению содержания  $FeO$  с 49,8 до 62,9-69,0% при незначительном изменении содержания  $Fe_{мет}$ . Такие изменения свидетельствуют об интенсификации процесса восстановления оксидов железа при введении в железорудный слой коксового орешка.

Исследования по восстановлению окатышей при введении в них коксового орешка различной крупности показали (рис. 1), что при использовании коксового орешка фракцией 5-7 мм (○) наблюдается наименьшее значение степени восстановления в течение всего опыта: нагрев материалов в течение первых 90 мин (соответствует достижению температуры 1000°C) степень восстановления составила 7,8%, а после выдержки в течение 150 мин – 22,3%. Наибольшие и близкие значения степени восстановления в течение всего времени показали опыты с использованием коксового орешка фракций 2-3 (Δ) и 1-2 (◇) мм: при нагреве материалов в течение первых 90 мин степень восстановления составила 10,1 и 11,2%, а после выдержки в течение 150 мин – 27,8 и 28,9% соответственно. При введении в слой окатышей коксового орешка фракцией 3-5 мм (□) и нагреве материалов в течение первых 90 мин наблюдается меньшее значение степени восстановления (7,8%), чем при использовании коксового орешка фракций 2-3 и 1-2 мм. Однако после выдержки в течение 150 мин степень восстановления составила 27,9%, что сопоставимо со степенью восстановления для фракций 2-3 и 1-2 мм.

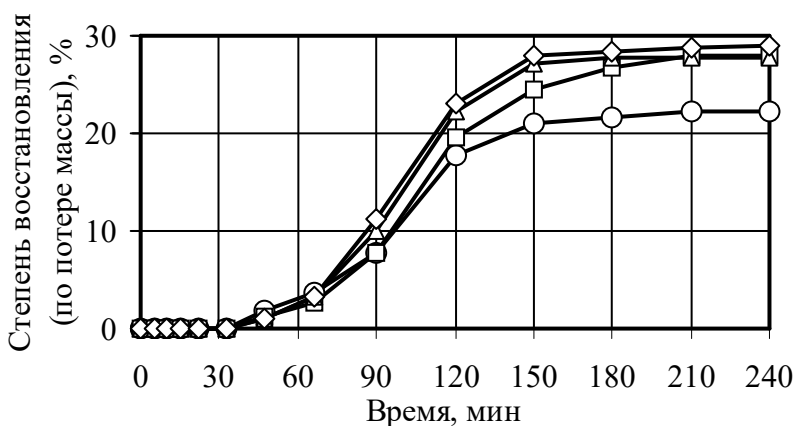


Рис. 1. Зависимость степени восстановления окатышей при введении в них коксового орешка различной крупности

Изменение скорости восстановления окатышей при введении в них коксового орешка различной крупности в количестве 30% показало, что для всех фракций коксового орешка максимальная скорость восстановления достигается на 120-й мин. Следует отметить, что наименьшее значение скорости восстановления (0,33 %/мин) относится к фракции коксового орешка 5-7 мм, а для остальных скорость восстановления составляет 0,40 %/мин (рис. 2).

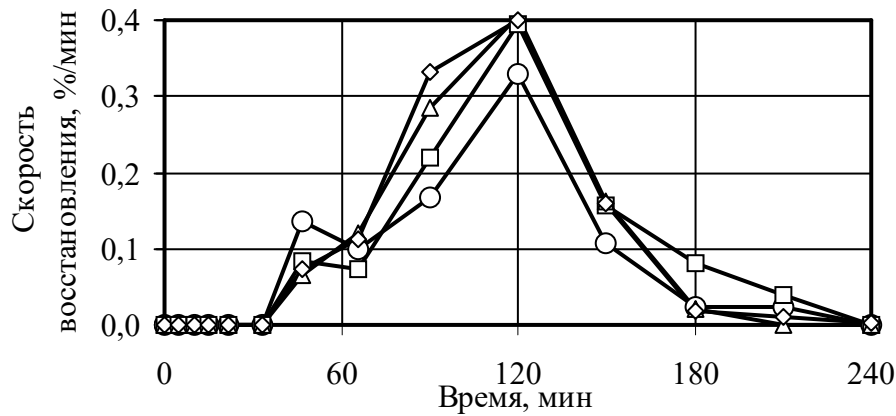


Рис. 2. Изменение скорости восстановления при введении в окатыши коксового орешка различной крупности

*Выводы.* Таким образом, на основании экспериментов показано, что введение коксового орешка в железорудную часть шихты позволит значительно активизировать процесс восстановления оксидов железа благодаря использованию углерода коксового орешка. Кроме того, максимальная степень восстановления наблюдается при использовании коксового орешка, сопоставимого с размерами железорудного материала и менее. Указанные выше причины могут способствовать снижению участия в реакциях прямого восстановления углерода скипового кокса. Кроме того, в результате снижения участия углерода кокса в протекании реакций прямого восстановления и Белла-Будуара можно ожидать меньшего снижения значений прочностных характеристик и среднего размера кусков кокса по высоте печи по сравнению с технологией без применения коксового орешка. Кроме того, такую подготовку металлургического кокса необходимо осуществить до начала внедрения технологии пылевдувания для улучшения газопроницаемости столба шихтовых материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коробов, И.И. О возможности использования мелкого кокса в современной доменной технологии / И.И. Коробов, К.И. Котов, С.И. Пинчук // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1969. – № 5. – С. 40-43.
2. Логинов, В.И. Работа доменной печи при совместной загрузке железорудных материалов и кокса в скип / В.И. Логинов, К.А. Мусиенко, Д.В. Воронков [и др.] // Сталь. – 1987. – № 12. – С. 7-12.
3. Доброскок, В.А. Разработка режима загрузки и опыт применения мелкофракционного кокса в мощной доменной печи / В.А. Доброскок, Ю.В. Липухин, И.Ф. Курунов [и др.] // Сталь. – 1998. – № 8. – С. 7-13.
4. Никитин, Л.Д. Работа доменных печей с использованием кокса мелких фракций / Л.Д. Никитин, М.Ф. Марьясов, В.П. Горбачев [и др.] // Metallurg. – 1999. – № 1. – С. 38-39.
5. Ярошевский, С.Л. Производство и использование коксового орешка в доменной плавке / С.Л. Ярошевский, Н.С. Хлапонин, А.М. Кузнецов, А.В. Кузин. – Донецк: УНИТЕХ, 2006. – 68 с.
6. Емченко, А.В. Исследование и эффективность применения коксового орешка в доменной плавке / А.В. Емченко, Б.П. Крикунов, С.Л. Ярошевский [и др.] // Металл и литье Украины. – 2011. – № 9-10. – С. 25-30.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Механико-технологический факультет

## ЛИТЬЁ И МЕТАЛЛУРГИЯ 2018

Сборник научных работ  
I Международной научно–практической конференции  
студентов и магистрантов

15–16 ноября 2018 года

Минск  
БНТУ  
2018

Известно, что себестоимость чугуна на 35-45% зависит от стоимости основного топлива доменной плавки – кокса, поэтому ученые и исследователи всего мира продолжают работы над снижением его удельного расхода в доменных печах.

Одним из наиболее распространенных путей снижения удельного расхода кокса является предварительная подготовка его по фракционному составу. Мероприятие по отсеву из кокса таких фракций, как <25 мм и >80 мм, позволяет повысить качество скипового кокса по таким показателям как механическая прочность (M40, M25, M10), горячая прочность (CSR) и реакционная способность (CRI). Применение такого мероприятия благоприятно влияет на ход доменной плавки: улучшается газодинамика столба шихты и снижается удельный расход скипового кокса.

Известно, что наиболее эффективной для доменных печей среднего и большого объемов является фракция кокса 40-80 мм, применение которой обеспечивает выход на максимальный уровень производительности. Подготовка кокса по фракционному составу к доменной плавке предопределяет образование большого количества отсева кокса фракции менее 40 мм. Как один из вариантов по рациональному использованию отсева кокса предлагается его пересеивать с выделением так называемого коксового орешка с последующей загрузкой его в доменную печь в смеси с железорудной частью шихты.

Однако, вследствие широкомасштабного внедрения использования коксового орешка в доменной печи за последние 10-15 лет, возникает вопрос как о рациональном его использовании, так и влиянии на доменный процесс.

Цель работы – выполнить литературный обзор по применению коксового орешка в доменных печах.

Первые опыты по применению коксового орешка относятся к середине прошлого века. Впервые коксовый орешек применили на Днепропетровском металлургическом заводе в 1967 году. Коксовый орешек фракции 10-40 мм в количестве 93-97 кг/т чугуна загрузили в доменные печи в смеси с агломератом. Опыты показали, что введение коксового орешка в количестве 16,3-17,6% от удельного расхода кокса снижает суммарный расход твердого топлива на 1,8-9,9%.

Основные исследования влияния перемешивания кокса с железорудными материалами были выполнены под руководством проф. В.И. Логинова. Показано, что при смешивании кокса с агломератом на 12-25% уменьшается газодинамическое сопротивление шихты по сравнению с послонной укладкой, наблюдается повышение степени использования газа СО на 1-3%. Вследствие перечисленных выше причин производительность доменной печи увеличивалась на 1,5-4,0% при снижении расхода кокса на 4-8%.

В доменных печах POSCO (Южная Корея) происходит смешивание коксового орешка с мелкой железной рудой, при дальнейшей дифференцированной загрузке в зону гребня шихты. Такой подход позволяет интенсифицировать восстановление оксидов железа.

Проведены опытно-промышленные плавки по использованию коксового орешка в доменном цехе ОАО «Северсталь». Нарушения газодинамического режима или ухудшение дренажной способности коксовой насадки обнаружены не были. Коэффициент замены кокса коксовым орешком составил 0,895 кг/кг.

Применение коксового орешка на ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод» в количестве 27 кг/т чугуна позволило снизить удельный расход кокса с 463 до 455 кг/т чугуна (1,7%). Коэффициент замены в среднем составил 1 кг/кг кокса. Было зафиксировано, что использование коксового орешка создает условия для снижения потерь металлургического

кокса – степень использования кокса в доменной печи увеличилась с 93,7 до 94,4%. Таким образом, экономия металлургического кокса на выплавку 1 т чугуна составила 21 кг (4,5%).

Использование коксового орешка фракцией 15-36 мм на доменной печи № 1 ПАО «Енакиевский металлургический завод» в количестве 25 кг/т чугуна способствовало снижению фактического расхода кокса на 10,7 кг/т чугуна, в том числе, на 4,0 кг/т чугуна – за счет совершенствования технологического режима доменной плавки, а 6,7 кг/т чугуна – за счет снижения потерь при высеве мелочи (менее 15 мм) из металлургического кокса.

Исследовательской группой профессора С.Л. Ярошевского было показано, что применение коксового орешка в смеси с железорудной частью позволяет улучшить газопроницаемость железорудной линзы. Оптимальные размеры коксового орешка: нижний – 10-15 мм, верхний – 35-40 мм. Введение первых порций коксового орешка в количестве 20-30% оказывает положительное влияние на газопроницаемость столба шихтовых материалов: газопроницаемость улучшается на 11,5-13,5%.

На доменной печи 3 Kakogawa (фирма Kobe Steel, Япония) проведены исследования по оценке использования коксового орешка в доменной плавке. Показано, что применение коксового орешка различной крупности в смеси с железорудной частью шихты позволило сохранить на периферии неизменный средний размер кусков кокса от уровня засыпи до распара. Так, например, при введении в железорудный слой коксового орешка в количестве 17-30 кг/т чугуна средний размер кусков кокса в распаре снижался всего на 1 мм по сравнению с загружаемым коксом, и составил 47 мм. Авторы пришли к выводу о возможности влияния на средний размер кусков кокса по высоте печи за счет оптимизации режима газификации углерода коксового орешка.

Заслуживают внимания работы специалистов Института черной металлургии Аахенского университета (г. Аахен, Германия), которые изучали влияние введения коксового орешка на степень восстановления агломерата и окатышей в условиях, характерных для зоны когезии доменной печи. Восстановлению в атмосфере 30% CO и 70% N<sub>2</sub> подвергались железорудные материалы в смеси с коксовым орешком в соотношении 3 к 1, при постоянной температуре. Так, например, при выдержке в течение 120 минут и температуре восстановления 1100°C введение коксового орешка в слой окатышей позволило повысить их степень восстановления примерно на 25%.

В странах Западной Европы к началу 90-х годов прошлого столетия практически на всех доменных печах уже широко применяли коксовый орешек фракции, в основном, 10-35 мм, и считалось обычной практикой использование его в количестве от 20 до 100 кг/т чугуна, особенно при применении технологии пылевдувания. Отличительной особенностью применения коксового орешка в настоящее время является обеспечение газопроницаемости рудного слоя ввиду уменьшения коксовой линзы в отличие от первых опытов в 70-х годах прошлого века, когда применение коксового орешка было обусловлено, по всей видимости, стремлением более полного использования металлургического кокса в доменных печах.

Теоретические и экспериментальные соображения дают основание рассчитывать на существенную интенсификацию процесса восстановления оксидов железа в железорудном слое, при введении в него коксового орешка. Нами планируется в дальнейшем проведение исследований об оценке влияния введения в железорудный слой коксового орешка различной крупности.

Таким образом, выполнен литературный анализ применения коксового орешка в доменных печах. Показано, что применение коксового орешка в смеси с железорудной частью шихты позволяет улучшить газопроницаемость рудной части шихты, а также будет способствовать значительной активизации процесса восстановления оксидов железа за счет использования углерода коксового орешка.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Механико-технологический факультет

## ЛИТЬЁ И МЕТАЛЛУРГИЯ 2018

Сборник научных работ  
I Международной научно–практической конференции  
студентов и магистрантов

15–16 ноября 2018 года

Минск  
БНТУ  
2018

**Влияние введения в железорудный слой коксового орешка различной крупности на степень восстановления оксидов железа**

Магистрант гр. МЧмф-17 Яшин И.Н.

Научный руководитель Кузин А.В.

Донецкий национальный технический университет  
г. Донецк

За последние 40-50 лет удельный расход кокса в доменных печах (ДП) был снижен более чем в два раза. Одним из способов повышения эффективности доменной технологии является замена более дорогостоящего кокса дополнительными видами топлива, в частности, пылеугольным топливом (ПУТ). Однако вдувание ПУТ обуславливает ухудшение газопроницаемости столба шихты. Как один из вариантов улучшения газопроницаемости рудной линзы является введение в нее коксового орешка.

За последние 15-20 лет в Украине и России возрос интерес к использованию коксового решка в доменной плавке: проведенные исследования показали возможность и эффективность применения такой технологии.

Теоретические соображения и экспериментальные результаты дают основание рассчитывать на существенную интенсификацию процесса восстановления оксидов железа в железорудном слое при введении в него коксового орешка.

Лабораторные исследования при смешивании агломерата с коксом показали, что максимальная степень использования газа СО наблюдается при применении 10-50% кокса. Краткосрочный опыт такого смешивания на ДП объемом 3200 м<sup>3</sup> показал, что степень использования газа СО повысилась на 2,1%, а степень прямого восстановления снизилась на 4,5%.

В связи с повышением интереса к технологии доменной плавки с использованием коксового орешка возникла необходимость оценить влияние крупности вводимого в железорудный слой коксового орешка на степень восстановления оксидов железа.

Целью работы является оценка влияния введения в железорудный слой шихты коксового орешка различной крупности на степень восстановления железорудного сырья.

Исследования проводили на установке, основным элементом которой является нагревательная электропечь типа СУОЛ. В тигель загружали исследуемый железорудный материал (окатыши СевГОК) навеской 25 г крупностью 3-5 мм. В качестве коксового орешка использовали фракции 5-7, 3-5, 2-3 и 1-2 мм при его постоянном расходе, равном 30 %. В рабочее пространство электропечи, предварительно нагретой до 200°C, устанавливали алундовый тигель с исследуемыми материалами. Сразу после установки тигля в электропечь опускали алундовую трубку, через которую в печь подавали аргон. Далее осуществляли нагрев печи до 1000°C и выдерживали при этой температуре в течение 150 мин. В течение всего опыта автоматическим регулятором контролировали температуру в рабочем пространстве электропечи. Потерю массы контролировали при изменении температуры через каждые 100°C, а при достижении температуры 1000°C и выдержке при данной температуре – каждые 30 мин с использованием аналитических весов типа Т-5000. По потере веса, с учетом стехиометрии выходящих газов, оценивали степень восстановления оксидов железа. Кроме того, по окончании опытов исследуемые окатыши подвергались химическому анализу.

Химический анализ восстановленных окатышей показывает, что введение коксового орешка фракций 3-5, 2-3 и 1-2 мм, по сравнению с фракцией 5-7 мм, способствовало снижению содержания Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с 35,6 до 14,1-18% и повышению содержания FeO с 49,8 до 62,9-69,0% при незначительном изменении содержания Fe<sub>мет</sub>. Такие изменения свидетельствуют об интенсификации процесса восстановления оксидов железа при введении в железорудный слой коксового орешка.

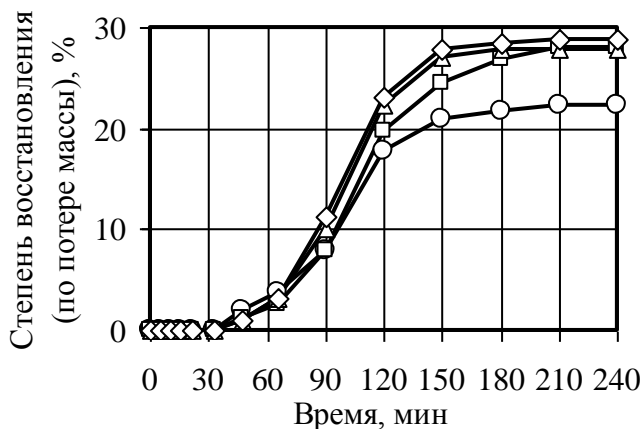


Рисунок 1 - Зависимость степени восстановления от крупности коксового орешка (обозначения в тексте)

становления составила 10,1 и 11,2%, а после выдержки в течение 150 мин – 27,8 и 28,9% соответственно. При введении в слой окатышей коксового орешка фракцией 3-5 мм (□) и нагреве материалов в течение первых 90 мин наблюдается меньшее значение степени восстановления (7,8%), чем при использовании коксового орешка фракций 2-3 и 1-2 мм. Однако после выдержки в течение 150 мин степень восстановления составила 27,9%, что сопоставимо со степенью восстановления для фракций 2-3 и 1-2 мм.

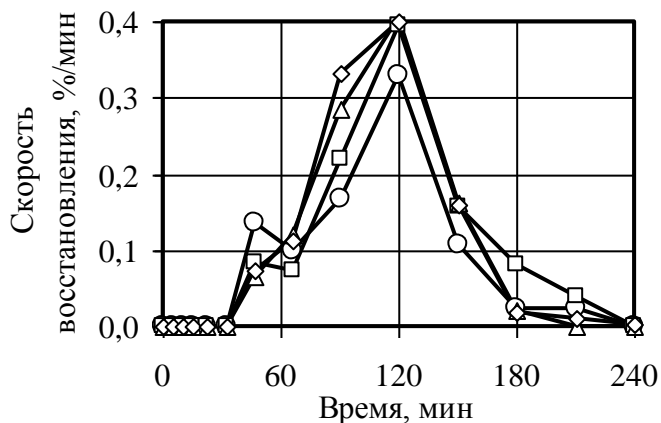


Рисунок 2 - Изменение скорости восстановления от крупности коксового орешка (обозначения в тексте)

Исследования по восстановлению окатышей при введении в них коксового орешка различной крупности показали (рис. 1), что при использовании коксового орешка фракцией 5-7 мм (○) наблюдается наименьшее значение степени восстановления в течение всего опыта: нагрев материалов в течение первых 90 мин (соответствует достижению температуры 1000°C) степень восстановления составила 7,8%, а после выдержки в течение 150 мин – 22,3%. Наибольшие и близкие значения степени восстановления в течение всего времени показали опыты с использованием коксового орешка фракций 2-3 (Δ) и 1-2 (◇) мм: нагрев материалов в течение первых 90 мин степень восстановления составила 10,1 и 11,2%, а после выдержки в течение 150 мин – 27,8 и 28,9% соответственно.

Изменение скорости восстановления окатышей при введении в них коксового орешка различной крупности в количестве 30% показало, что для всех фракций коксового орешка максимальная скорость восстановления достигается на 120-й мин. Следует отметить, что наименьшее значение скорости восстановления (0,33 %/мин) относится к фракции коксового орешка 5-7 мм, а для остальных скорость восстановления составляет 0,40 %/мин (рис. 2).

Таким образом, на основании экспериментов показано, что введение коксового орешка в железорудную часть шихты позволит значительно активизировать процесс восстановления оксидов железа благодаря

использованию углерода коксового орешка. Кроме того, максимальная степень восстановления наблюдается при использовании коксового орешка, сопоставимого с размерами железорудного материала и менее. Указанные выше причины могут способствовать снижению участия в реакциях прямого восстановления углерода скипового кокса. В результате снижения участия углерода кокса в протекании реакций прямого восстановления и Белла-Будуара, можно ожидать меньшего снижения значений прочностных характеристик и среднего размера кусков кокса по высоте печи, по сравнению с технологией без применения коксового орешка. Подготовку металлургического кокса с использованием в скиповом коксе фракции 40-80 мм и выделение из отсева кокса коксового орешка, с последующей загрузкой его в железорудную часть шихты необходимо осуществить до начала внедрения технологии пылевудования, для улучшения газопроницаемости столба шихтовых материалов.



ПРИЛОЖЕНИЕ Г  
Демонстрационный материал



**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ"**

# **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ СТОЛБА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Руководитель:

Доцент кафедры РТП и МТ, к.т.н., доцент  
Кузин Андрей Викторович

Докладчик:

студент группы МЧМ-13ф  
Яшин Иван Николаевич

# *Объект, цель и задача исследования*

1



***Объект исследования*** – технология доменной плавки

***Предмет исследования*** – влияние подготовки металлургического кокса по фракционному составу на технологию доменной плавки

***Цель работы*** – совершенствование технологии доменной плавки за счет улучшения газопроницаемости шихты

***Задача*** – улучшить газопроницаемость и повысить расход пылеугольного топлива

## МИРОВОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫПЛАВКИ ЧУГУНА И СТАЛИ



Согласно данным Всемирной организации производства стали World Steel Association, за 2018 год в мире было произведено 1,239 млрд. т. чугуна и 1,809 млрд. т. стали. За 2017 год в мире было произведено 1,174 млрд.т. чугуна и 1,730 млрд.т. стали. Рост производства составил 5,52 % для чугуна и 4,6 % для стали.

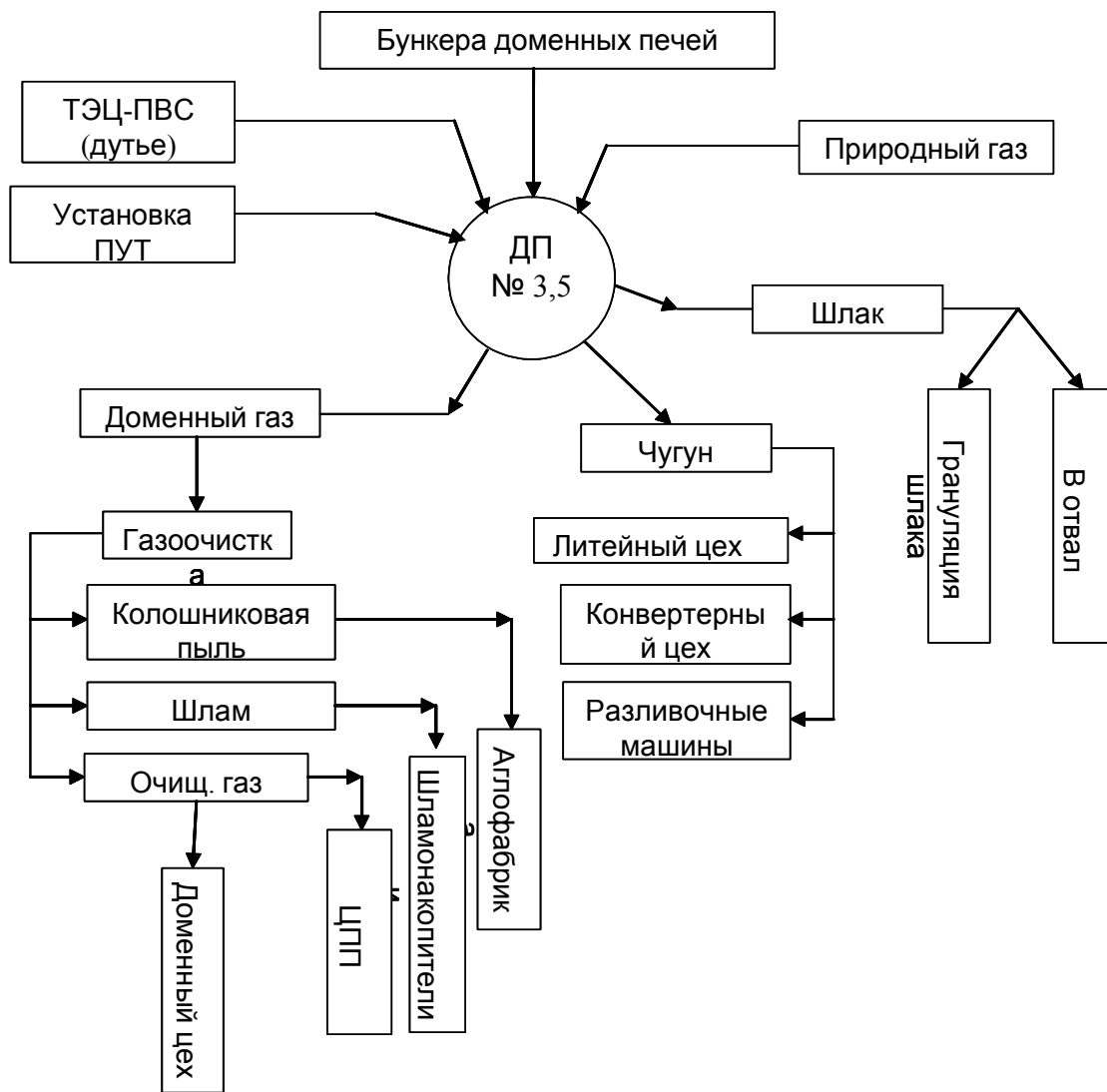
## ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОКСА ПО ПРЕДПРИЯТИЯМ МИРА

Страна, фирма, завод	Показатели					
	A <sup>s</sup>	S	CSR	CRI	M <sub>40</sub>	M <sub>10</sub>
Китай, «Baosteel»	11,15	0,52	70,43	24,10	89,5	5,5
Южная Корея, «POSCO»	11,02	0,53	68,32	-	-	-
Япония, «Nippon Steel»	11,63	0,53	62,80	27,0	-	-
Великобритания, «Radcar»	10,10	0,60	67,00	24,0	87,1	6,2
США, «Sun Coal»	7,20	0,74	63,50	25,5	-	-
Италия, «Iva», Таранто	9,37	0,60	66,55	28,15	86,2	6,2
Нидерланды, «Hoogovens»	9,70	0,64	61,80	-	87,8	5,8
Тайвань, «China Steel»	10,79	0,49	68,85	20,26	85,5	6,4
Германия, «Thyssen Krupp Stahl»	9,20	0,59	67,20	22,6	83,3	7,2

Как видим, показатель кокса по CSR превышает 60-63 %, а показатель CRI составляет 28 % и менее. Это обусловлено повышенным расходом дополнительных видов топлива, таких, как ПУТ и ПГ.

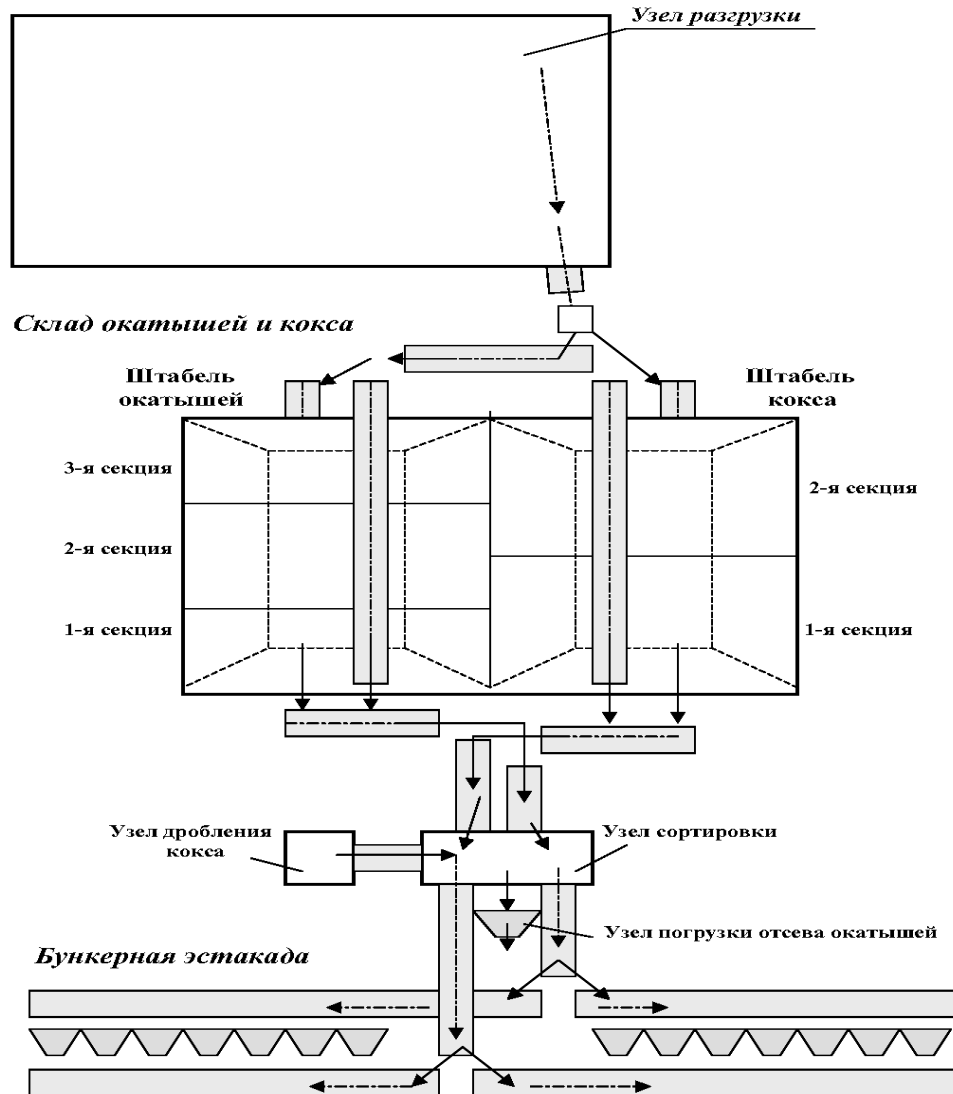
# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ДОМЕННОГО ЦЕХА ЕНАКИЕВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

4



# ПОДГОТОВКА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СКЛАДЕ ОКАТЫШЕЙ И КОКСА

5



## ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ СКИПОВОГО КОКСА, ЗАГРУЖЕННОГО В ДП №5 6

Вид загруженного кокса	Фракционный состав (мм) кокса, %					
	+80	80-60	60-40	40-25	25-10	10-0
Кокс, поступивший с СОК	4,45	10,68	51,98	26,07	5,90	0,94
Кокс без обработки на СОКе	11,38	16,69	47,37	20,73	3,25	0,58

В результате прохождения кокса через СОК, в нем снижается содержание вредной фракции  $>80$  мм, а содержание фракции  $<10$  мм остается на одном уровне с коксом, который не прошел подготовку на складе



# СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОКСА РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ В УКРАИНЕ

## Технический анализ кокса по предприятиям

Предприятие (КХЗ)	Технический анализ кокса, %								
	W	Зола	Сера	M <sub>25</sub>	M <sub>10</sub>	80	<25	CSR	CRI
Ясиновский	4,7	10,7	1,0	88,9	7,1	10,7	2,7	42,7	38,3
Макеевский	4,8	11,1	1,0	87,5	7,5	11,2	3,9	43,4	37,4
Енакиевский	3,4	11,5	1,0	88,3	7,0	11,8	3,1	43,4	37,2

Общие корреляционные зависимости для всех производителей кокса

Зависимость	Производитель (КХЗ)		
	Ясиновский	Макеевский	Енакиевский
CSR/CRI	-0,973	-0,950	-0,874
M <sub>25</sub> /M <sub>10</sub>	-0,912	-0,578	-0,624
CSR/ 80 мм	-0,324	-0,343	-0,669

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА КОКСА

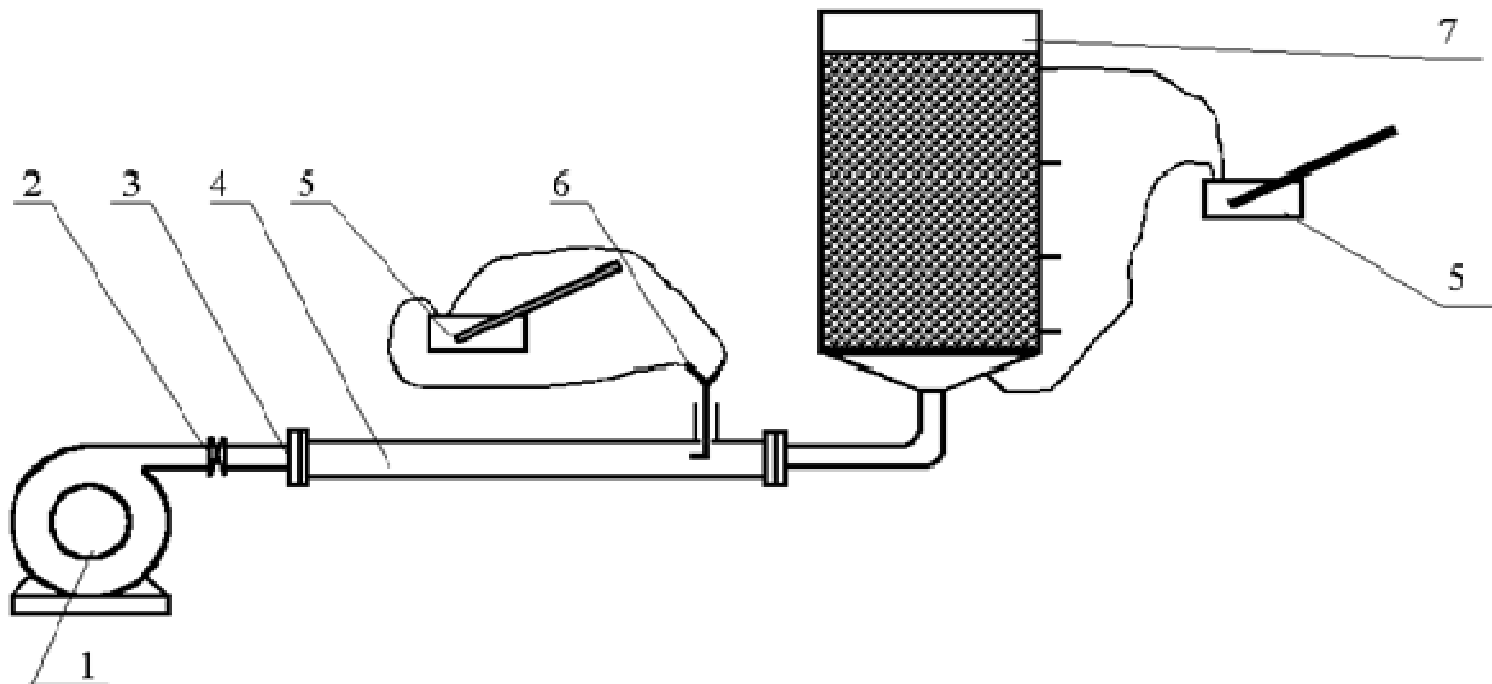
8

Повышение показателей горячей и холодной прочностей, а также реакционной способности, достижимо за счет:

- применения в коксовании коксующихся марок углей («К» и «Ж»), благоприятно влияющих на технический анализ продукта; составление оптимальной пропорции, позволяющей получить качественный продукт по показателям дробимости ( $M_{40}$ ,  $M_{25}$ ), истираемости ( $M_{10}$ ), горячей прочности (CSR) и реакционной способности (CRI);
- применение сухого тушения кокса взамен мокрого;
- стабилизация скипового кокса реализацией кусков по трещинам;
- грохочение и додрабливание фракции  $\geq 80$  мм; приемлемым считается содержание фракции в скиповом коксе на уровне 5% и менее;
- применение грохота с размером ячеек нижнего сита 32-40 мм; отсев кокса фракций 32 мм позволяет снизить приход мелочи с шихтой;
- рассев кокса фракцией 32-40 мм с получением мелкофракционного кокса фракцией 10(25)-40 мм (коковского орешка) и побочной мелочи;
- загрузка коксового орешка с железорудной частью в доменную печь (в верхней части шахты коксовый орешек выполняет роль восстановителя и разрыхлителя железорудной части).

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ СТОЛБА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВВОДЕ КОКСОВОГО ОРЕШКА

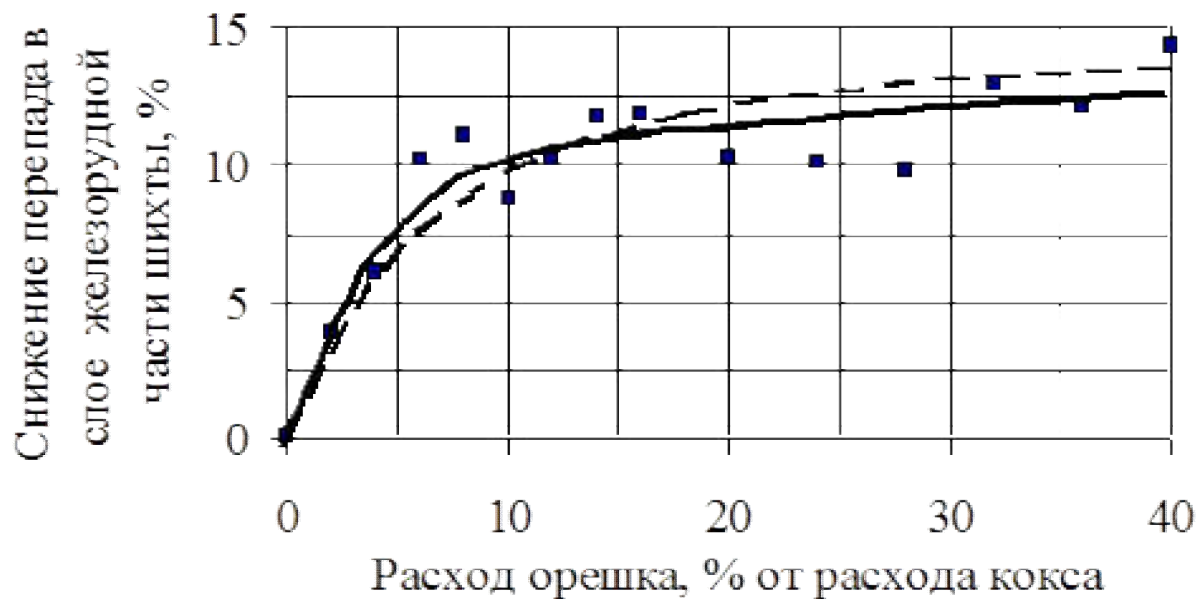
9



1 – воздуходувный агрегат; 2 – кран; 3 – переходник; 4 – прямолинейный трубопровод; 5 – микроманометр ММН 240; 6 – трубка Пито; 7 - цилиндрическая модель «сухой» зоны доменной печи.

Схема установки холодной модели «сухой» зоны доменной печи с неподвижной шихтой:

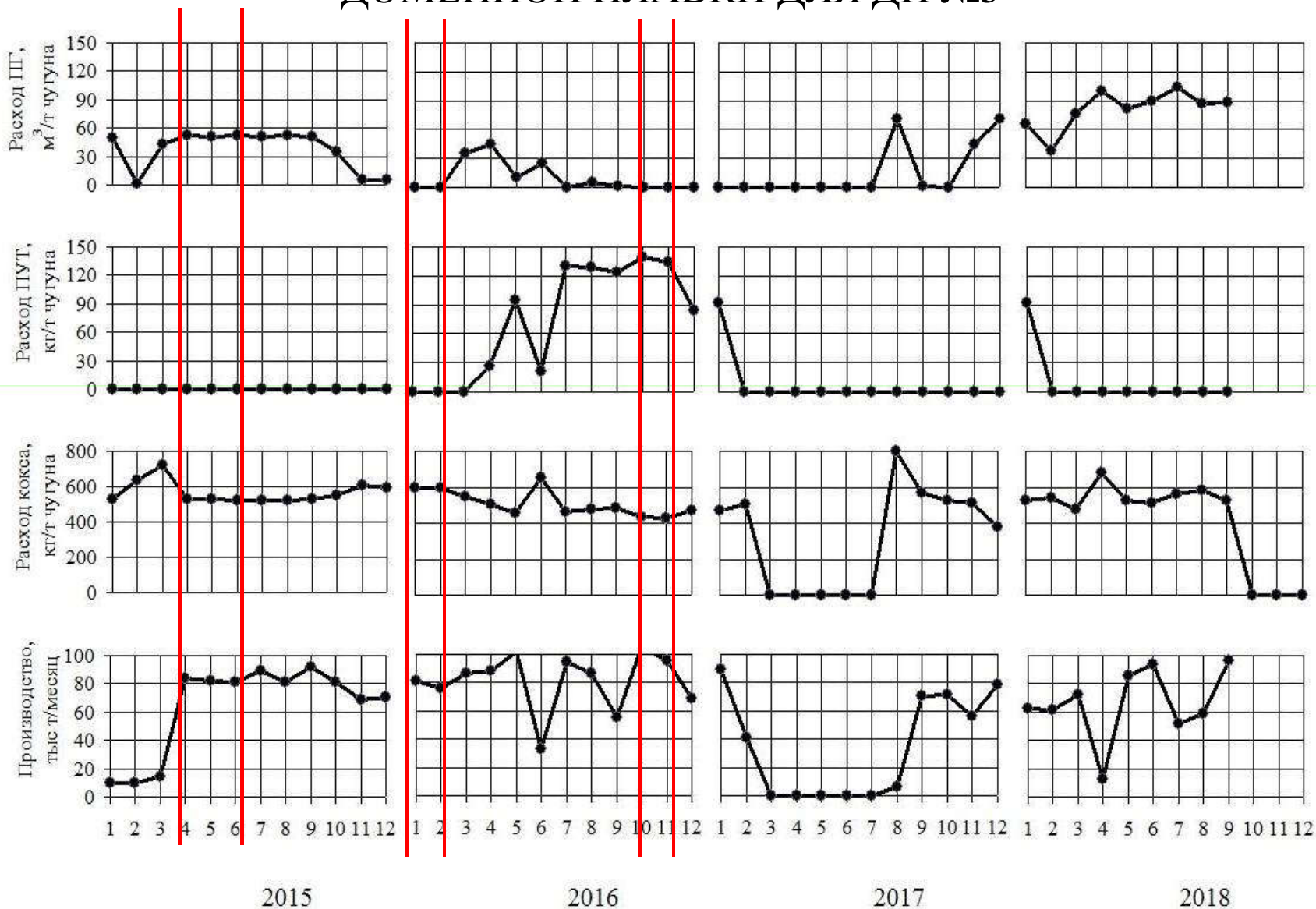
## ЗАВИСИМОСТЬ ВЛИЯНИЯ РАСХОДА КОКСОВОГО ОРЕШКА НА ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ ГАЗА В СЛОЕ СМЕСИ АГЛОМЕРАТА И КОКСОВОГО ОРЕШКА 10



Зависимость влияния расхода коксового орешка на перепад давления газа в слое смеси агломерата и коксового орешка

Согласно полученным данным, было отмечено, что наиболее весомое снижение перепада давления в столбе шихты было отмечено при вводе первых 10-20% порции коксового орешка.

# КОМПЛЕКСНЫЕ ДИАГРАММЫ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ ДЛЯ ДП №3



## Данные работы ДП 3 без и с вдуванием ПУТ

Показатели	базовый	опытный
Производительность т/сутки	3142,7	3176,6
Кокс скиповый+орешек	564,5 (34,6)	397,5 (34,2)
агломерат ЕМЗ+(ЮГОК)	770,7 (0)	814,0 (323,9)
конвертерный шлак	57,1	49,1
окатыши СевГОК	957,3	520,9
Дутье: расход, м <sup>3</sup> /т	1583	1256
температура, °С	910	1100
содержание кислорода, %	20,0	25,2
пылеугольное топливо	0,0	138,6
Содержание в чугуне, %: Si	0,55	0,6
S	0,06	0,082
Выход шлака, кг/т чугуна	451	399,7
Основность шлака, CaO/SiO <sub>2</sub>	1,16	1,05
Теоретическая температура, °С	2110	2187
Расход углерода, дошедшего до фурм, кг/т чугуна	347,7	247,2
Степень прямого восстановления, %	52,95	27,32
Степень использования СО, % (расчетная)	39,97	43,4
К.П.Д. использования тепла печи, %	83,54	86,74

- 1) Мировым лидером производства чугуна и стали является Азиатский регион. КНР выплавляет около 60 % от мирового производства. За 2018 год в мире произведено 1,239 млрд. т. чугуна и 1,809 млрд. т. стали.
- 2) Проведение физического моделирования в лабораторных условиях подтвердило положительное влияние ввода коксового орешка (от расхода кокса) в смесь железорудной части, на газопроницаемость столба шихтовых материалов. Согласно полученным данным, было отмечено, что наиболее весомое снижение перепада давления в столбе шихты было отмечено при вводе первых 10-20% порции коксового орешка.
- 3) Расчетами показано, что при повышении расхода ПУТ до 140 кг/т чугуна происходит: снижение расхода кокса на 29,58 % отн. и расход условного топлива на 30,0 кг/т чугуна (4,95 % отн.); увеличение степени использования CO на 7,9 % (отн.); снижение степени прямого восстановления на 48,4 % (отн.); улучшение использования тепловой энергии газов.