

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Виноградова Евгения Николаевича на тему
«Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий повышения
эффективности коксоаглодоменного производства», представленной на
соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.2 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов
(технические науки)

Диссертационная работа Виноградова Е.Н. посвящена комплексной проблеме повышения эффективности аглококсодоменного производства в условиях одновременного ужесточения требований к экономичности, качеству выпускаемой продукции и экологичности металлургического передела. Актуальность исследования не вызывает сомнений: в условиях ПАО «Северсталь», где доменный передел является крупным звеном производственной цепочки, вопросы рационального использования железорудного сырья, твёрдого и газообразного топлива, а также вовлечения вторичных ресурсов приобретают первостепенное значение.

Особую значимость работе придаёт то обстоятельство, что задачи оптимизации подготовки железорудных материалов (агломерата и окатышей), управления качеством кокса и организации шлакового режима доменной плавки рассматриваются не изолированно, а в единой технологической связке, что соответствует современным тенденциям системного подхода к управлению аглококсодоменным производством.

Представляется целесообразным выделить следующие результаты, обладающие научной новизной:

1) Установлены закономерности распределения щелочных элементов (калия и натрия) в объёме куска кокса на уровне $2/3$ высоты шахты доменной печи. Обнаруженное различие в характере проникновения калия и натрия имеет принципиальное значение для обоснования стратегий управления реакционной способностью кокса и выбора компонентов угольной шихты. Данный результат открывает возможности для целенаправленного подбора угольных шихт с учётом содержания оксидов калия и натрия в золе.

2) Экспериментально установлены количественные взаимосвязи между составом и количеством первичного шлака, формирующегося при проплавлении агломерата и окатышей с использованием кокса различного состава, и показателями процесса науглероживания чугуна. Выявленная зависимость сокращения содержания углерода в расплаве на 0,075 % при

увеличении FeO на 1,0 % представляет практический интерес при планировании состава железорудной части шихты.

3) Разработаны теоретические основы и реализована в промышленных условиях технология получения инновационного продукта углеродсодержащего (ИПУС) из шихты, содержащей от 60 до 100 % малоценных угольных концентратов, условно пригодных для коксования. Себестоимость данного продукта, составляющая 65-70 % от себестоимости металлургического кокса, свидетельствует о ресурсосберегающем потенциале технологии.

4) Получена эмпирическая зависимость показателя низкотемпературной прочности агломерата ($RDI_{3,15}$, ISO 4696) от содержания возврата в агломерационной шихте, что позволяет обосновывать параметры управления качеством агломерата путём оптимизации расхода оборотных продуктов аглопроцесса.

Практическая ценность работы подтверждается масштабным промышленным внедрением на доменных печах ПАО «Северсталь» в период 2014-2023 гг. Среди наиболее значимых практических результатов с точки зрения подготовки материалов к доменной плавке необходимо отметить:

- разработку и внедрение технологии доменной плавки с малым выходом шлака при содержании MgO в конечном шлаке до 14,5 %, что позволило расширить диапазон применения железорудного сырья с магнезиальной пустой породой (увеличение доли Ковдорского концентрата в аглошихте с 29 до 45 %);

- разработку способа загрузки доменной печи с использованием некондиционных фракций агломерата (3-5 мм) в пристеночную зону, что обеспечило повышение производительности агломерационных машин на 2 % и снижение расхода кокса;

- внедрение ИПУС в качестве основного вида твёрдого топлива с расходом до 370 кг/т чугуна без ухудшения ТЭП ДП;

- освоение технологии ведения доменной плавки с расходом природного газа более 190 м³/т чугуна при расходе твёрдого топлива менее 350 кг/т чугуна и коэффициенте замены кокса природным газом 0,704 кг/м³.

Имеются следующие замечания и вопросы:

1. В диссертации предлагается использовать уравнение (1) для оперативного управления содержанием углерода в чугуне, однако коэффициент корреляции составляет всего 0,61. При таком значении коэффициент детерминации не превышает 37 %, что означает значительный разброс расчётных значений относительно фактических. Представляется целесообразным уточнить границы применимости данного уравнения, т.е. при каких изменениях параметров шихты и дутья этого уравнения достаточно для

оперативного управления, а в каких случаях требуется учет дополнительных факторов?

2. В автореферате приведены характеристики ИПУС с показателем CSR в диапазоне 37,5-46,4 %, что существенно ниже требований, традиционно предъявляемых к металлургическому коксу для печей большого объема. Указано, что внедрение ИПУС осуществлено «без ухудшения технико-экономических показателей плавки». Поясните, за счёт каких именно технологических мероприятий была скомпенсирована пониженная горячая прочность ИПУС, и каковы пределы масштабирования доли ИПУС без риска потери газопроницаемости столба шихты?

3. Сам по себе факт ухудшения прочностных характеристик агломерата при увеличении доли возврата является известным с позиций физики процесса спекания. Возможно, речь идёт о конкретном количественном пороге или о нелинейном характере деградации прочности при определённом уровне возврата?

4. Автором разработана и обоснована технология малошлаковой плавки с содержанием MgO до 14,5 %, при этом отмечается увеличение вязкости шлака на 10-15 % и снижение коэффициента распределения серы с 48 до 24-32 ед. Каким образом в условиях повышенной вязкости и малого объёма шлака обеспечивалось стабильное получение чугуна с содержанием серы, удовлетворяющим требованиям последующего сталеплавильного передела?

5. Проводилась ли проверка воспроизводимости эффекта проникновения калия и натрия в структуру куска кокса на уровне 2/3 высоты шахты на других печах, помимо ДП №4?

Указанные замечания носят рекомендательный и дискуссионный характер, не затрагивают основных научных результатов работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Заключение

Автореферат полно и корректно отражает основное содержание диссертации. Работа Виноградова Е.Н. представляет собой завершённое научно-квалификационное исследование, в котором на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований, а также масштабного промышленного внедрения разработаны и реализованы ресурсосберегающие технологии, обеспечивающие повышение эффективности аглококсодоменного производства ПАО «Северсталь». Полученные результаты вносят существенный вклад в развитие теории и практики подготовки материалов к доменной плавке, управления качеством твёрдого топлива и организации доменной плавки с малым выходом шлака.

Диссертация Виноградова Евгения Николаевича соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.6.2 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов, а её автор, Виноградов Евгений Николаевич, заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата технических наук.

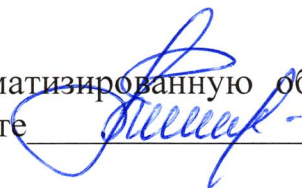
Ведущий научный сотрудник
лаборатории пирометаллургии
восстановительных процессов,
кандидат технических наук
05.16.02 – Metallургия черных,
цветных и редких металлов



Галина Юрьевна Витькина

«05» августа 2026 года

Я, Витькина Галина Юрьевна, согласна на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии имени академика Н.А. Ватолина Уральского отделения Российской академии наук (ИМЕТ УрО РАН)
620016, Россия, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 101,
+7 (343) 232-90-25, 20procents@mail.ru

Подпись в.н.с. Витькиной Г.Ю. заверяю:

Ученый секретарь ИМЕТ УрО РАН,
к.х.н.



П. В. Котенков