

УДК 681.5.004.9/681.518.5

### СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАДИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

**С. В. Ивашкин**

ПАО “Кременчугский сталелитейный завод”

ул. Приходько, 141, г. Кременчуг, 39621, Украина. E-mail: sergeyiv@i.ua

**И. Г. Оксанич, С. Э. Притчин**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: spmywork@ukr.net

Осуществлён обзор методов информационной диагностики (мониторинга) энергетических режимов функционирования трехфазной электродуговой сталеплавильной печи. Рассмотрены и проанализированы методы повышения точности фиксации стадий (фаз) плавления шихты и температуры жидкого металла, а также особенности информационного диагностирования (мониторинга) энергетических режимов. Выделены преимущества и недостатки применения рассмотренных методов. Программно реализован и апробирован алгоритм фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали, базирующийся на постоянном контроле с постоянной периодичностью всех энергетических режимов и процессов, протекающих в печном агрегате.

**Ключевые слова:** информационная диагностика (мониторинг), энергетические режимы, стадии плавления шихты, температура жидкого металла.

### СИНТЕЗ ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТУЮЧОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ СТАДІЙ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕЖИМОВ В ЕЛЕКТРОДУГОВІЙ СТАЛЕЛІВАРНІЙ ПЕЧІ

**С. В. Івашкін**

ПАО “Кременчугский сталелитейный завод”

вул. Приходько, 141, м. Кременчук, 39621, Україна. E-mail: sergeyiv@i.ua

**С. Е. Притчин, І. Г. Оксанич**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: spmywork@ukr.net

Здійснено огляд методів інформаційної діагностики (моніторингу) енергетичних режимів функціонування трифазної електродугової сталеплавильної печі. Розглянуто і проаналізовано методи підвищення точності фіксації стадій (фаз) плавлення шихти і температури рідкого металу, а також особливості інформаційного діагностування (моніторингу) енергетичних режимів. Виділено переваги та недоліки застосування розглянутих методів. Програмно реалізовано і апробовано алгоритм фіксації стадій плавлення шихти і температури рідкої сталі, що базується на постійному контролі з постійною періодичністю всіх енергетичних режимів і процесів, що відбуваються в пічному агрегаті.

**Ключові слова:** інформаційна діагностика (моніторинг), енергетичні режими, стадії плавлення шихти, температура рідкої сталі.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** В настоящий момент остро стоит задача обеспечения информационной диагностики (мониторинга) энергетических режимов функционирования трёхфазных электродуговых сталеплавильных печей. Различным аспектам решения данной проблемы посвящено множество работ и публикаций [1–3]. Но в реальных условиях эксплуатации печного агрегата часто возникают ситуации, при которых отсутствует возможность адекватно судить о точности начала и окончания стадий плавления шихты и температуры жидкого металла.

В процессе эксплуатации трёхфазных электродуговых сталеплавильных печей выбор критерия оптимальности при определении стадий плавления шихты и температуры жидкого металла характеризуется рядом показателей качества и эффективности функционирования печного агрегата, оказывающие влияние на эти параметры. Некоторые показатели характеризуют качество процесса управления, другие оптимальность с экономической, эксплуатационной и технологической точек зрения. Управление печным агрегатом с учётом этих показателей приводит к повышению эффективности процесса расплавления шихты.

Задачи оптимизации электрического режима и повышения точности фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали в целом крайне затруднительны. Так, оптимизация электрического режима работы печного агрегата, реализуемая путём информационной диагностики (мониторинга) и идентификации состояния для каждой стадии плавления шихты, а также поддержания оптимального режима для данных состояний, позволяет увеличить производительность до 10 % и снизить расход электроэнергии и огнеупоров до 7 % [4].

*Постановка задачи ее связь с научными проблемами.* Практикуемая в настоящее время оценка по проектным показателям зачастую не соответствует реальным характеристикам энергетических режимов и процессов, протекающих в печном агрегате (энергетические ресурсы используются не самым оптимальным образом). Для решения этой проблемы необходимы современные методы инструментального контроля и учёта энергетических ресурсов (анализаторы мощности, инфракрасная техника, ультразвуковая дефектоскопия, электромагнитная локация и т.п.) [5–7].

Цель работы – рассмотрение способов повышение точности фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали; реализация системы постоянного информационного диагностирования (мониторинга) энергетических режимов и повышение точности фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Достижение цели обеспечивается с помощью автоматизированной системы инструментально-технического учёта и контроля энергетических режимов (далее АСИТУКЭР). Данная система предназначена для инструментально-технического учёта и контроля энергетических режимов и процессов, протекающих в печном агрегате при различных технологических процессах. На неё возлагаются функции по дистанционному сбору технической информации о потоках энергетических ресурсов, её хранения, контроль энергетических режимов и технологических процессов, протекающих в печном агрегате. Использование АСИТУКЭР является доминирующей функцией для разработки и реализации программ энергосбережения в металлургической отрасли и является необходимой составляющей частью при проектировании и организации АСУТП ДСП.

Методы и способы фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали различаются в зависимости от комбинации признаков, характеризующих особенности структуры и взаимодействия трёх основных частей системы: объект технического учёта и контроля (печной агрегат), система сбора технической информации, преобразования и передачи технической информации и система обработки, накопления и отображения результатов технического учёта и контроля.

Вышеупомянутая задача реализуется одним из следующих способов фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали или их комбинаций [4]. Рассмотренные способы фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали имеют свои достоинства и недостатки.

1. В способе определения стадий плавления шихты в печном агрегате предлагается измерение следующих энергетических параметров:

- расход и параметры электроэнергии;
- выделение из тока дуги высших гармоник;
- из несинусоидального напряжения дуги выделяют седьмую и девятую гармоники;
- измерение величины седьмой и девятой гармоники;
- фиксация изменения величины седьмой и девятой гармоники.

Предлагается измерять величину высших гармоник (до 21 включительно) и по изменению величины седьмой и девятой гармоник тока и напряжений дуги в зависимости от израсходованной электроэнергии фиксировать стадии плавления шихты и нагрева металла. Выбор для определения стадии плавления седьмой и девятой гармоники напряжения обусловлен тем, что информативность гармоник уменьшается по мере повышения их номера.

2. В способе распознавания технических стадий плавления шихты в печном агрегате предлагается измерение следующих энергетических параметров:

- расход и параметры электроэнергии;

- измерение влечены дисперсии тока;
- из несинусоидального напряжения дуги выделяют первой, второй, третьей, пятой и шестой гармоники.

С помощью математического аппарата (алгоритмов) определяется вероятность наступления стадии плавления шихты. Недостатком этого способа является отсутствие чёткой функциональной зависимости между набором признаков и конкретной стадией плавления.

3. Предлагается по наличию данных признаков с помощью математического аппарата (алгоритмов) с определённой вероятностью фиксировать моменты начала и конца стадий плавления шихты и нагрева металла. Для конкретных условий находят информативную зависимость от времени плавки, в течение которой выделены такие стадии:

- зажигание дуг;
- прорезка колодцев;
- образование "лужи" жидкого металла;
- обвалы шихты;
- формирование ванны жидкого металла;
- доплавление.

Для информативной зависимости определяют математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение на протяжении серии плавков для конкретного печного агрегата. Эта информация хранится в специализированных библиотеках. С помощью математического аппарата (алгоритмов) выделяют максимальное напряжение и ток, соответствующее наличию конкретной стадии в данный момент времени.

Недостатком этого способа является необходимость исследования значений вероятности стадий плавления шихты по мере изменения качества шихты, технологии ведения плавки, состояния печного агрегата и т.д. Это требует дополнительных затрат и снижает точность данного способа.

Если по данным контроля (мониторинга) будут обнаружены параметры и признаки стадий, и эти параметры будут находиться в рамках норм и соответствовать требуемому значению, принимается решение о фиксации стадий. Важным элементом системы фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали является реализация постоянного контроля с постоянной периодичностью (при этом определённый ряд параметров энергетических режимов будет контролироваться в автоматическом режиме). Этим самым достигается целостность информации и повышается скорость её обработки.

Из этого следует, что принятие решения фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали, будут производиться на основе информации о техническом состоянии контролируемого объекта (печной агрегат), формируемой при помощи АСИТУКЭР. Алгоритм реализации подобной стратегии показан на (рис. 1).

Таким образом, важную роль в повышение точности фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали играет качественный и функциональный контроль (мониторинг) всех энергетических режимов и процессов, протекающих в печном агрегате. Проведённый анализ показал, что ввиду особенностей функционирования печного агре-

гата експлуатаційними службами вивдаються наступні вимоги:

- виробимий контроль і діагностика (мониторинг) не повинні порушувати функціонування печного агрегата;
  - необхідність постійного виконання повного контролю технічних режимів;
  - необхідність визначення і урахування всіх кількісних показників енергетичних режимів.
- Удовольнити ці вимоги можливо в декількох етапах технічного урахування і контролю:
- визначити вибір критеріїв, визначаючих організацію системи технічного урахування і контролю (мониторинг);
  - накопичення достаточного кількості технічної інформації про стан об'єкта дослідження (печного агрегата);
  - виробити неперервний контроль енергетичних режимів і технологічних процесів, протікаючих в печному агрегаті;
  - визначити неявні залежності енергетичних показників від їх характеристик;
  - забезпечити круглодобовий всеохоплюючий інструментальний технічний урахування і контроль за енергетичними потоками, режимами і процесами, протікаючими в печному агрегаті;
  - проведення науково-дослідницьких робіт з метою створення бібліотек "стандартних плавків" і автоматичних режимів функціонування ДСП по "стандартним плавкам";
  - виявляти необосновані втрати електричної енергії при виробництві кінцевої продукції;
  - забезпечити отримання об'єктивної інформації про технічний стан печного агрегата з метою встановлення обоснованих нормативів споживання енергетичних ресурсів;
  - забезпечити отримання вихідної інформації для моделей прогнозування стану печного

агрегата і попередження розвитку незвичайних і аварійних ситуацій.

Для визначення стадій плавлення шихти і температури рідкої сталі в печному агрегаті, використовувалась його діагностична модель (рис. 2).

Діагностична модель печного агрегата відрізняється від звичайних математических моделей, які тільки відображають номінальний режим функціонування системи [7]. Данна модель системи діагностування (мониторинг) печного агрегата описує суттєві властивості об'єкта і взаємодії між елементами і підсистемами, визначає оптимальні значення і ефективність функціонування об'єкта, а також всі можливі аварійні режими функціонування печного агрегата.

Для програмної реалізації даного методу фіксації стадій плавлення шихти і температури рідкої сталі використовувався програмний пакет LabVIEW 2010 (National Instruments, США), який дозволяє організувати простий і зручний інтерфейс користувача (рис. 3). Програмна налаштування застосовується для організації доступу до регістрів пам'яті діагностуємого пристрою (аналізатор якості потужності з протоколом обміну даними ModbusRTU) з боку додатків, запущених на ПК (рис. 4).

Крім того, дана програмна реалізація може бути застосована для діагностування технологічного обладнання, що входить до складу печного агрегата. Також дозволяє переглядати поточні значення і параметри енергетических режимів, значення вхідних і вихідних сигналів, а також реєструвати ці значення (останнє може бути застосовано для імітації різних режимів функціонування печного агрегата).

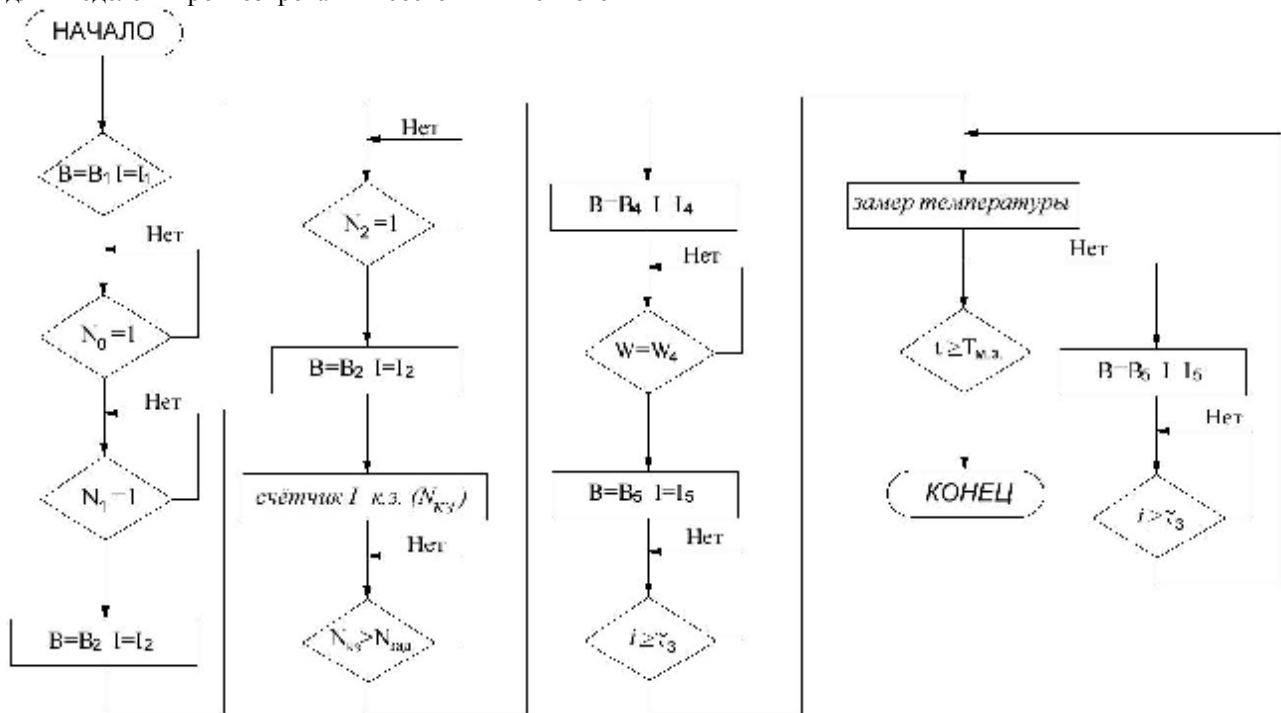


Рисунок 1 – Алгоритм фіксації стадій плавлення шихти і температури рідкої сталі в ДСП-25-І4

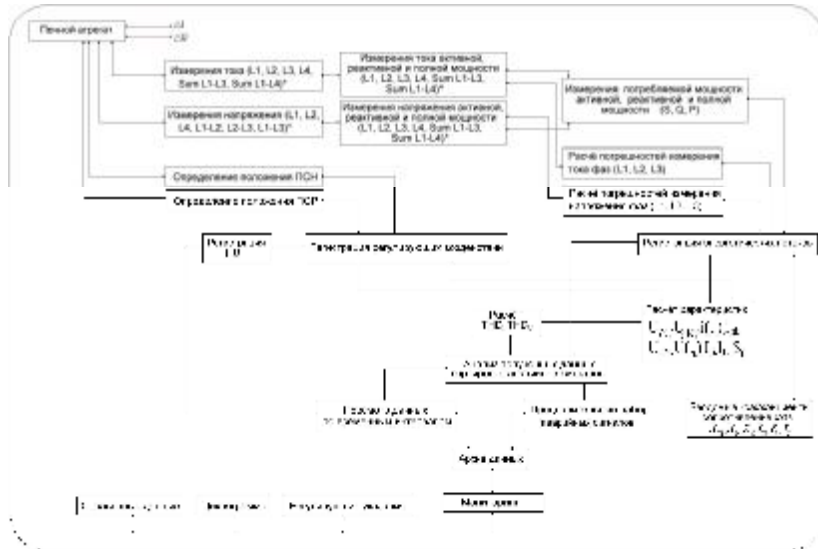


Рисунок 2 – Функциональная структура автоматизированной системы фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали в ДСП–25–И4

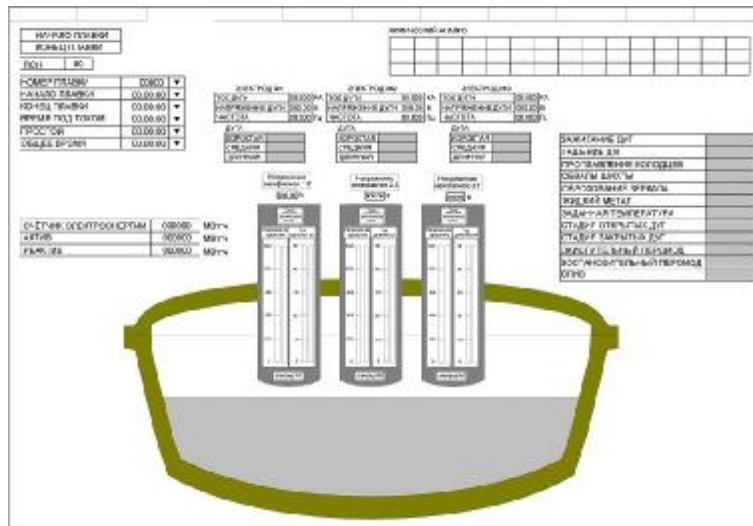


Рисунок 3 – Программный интерфейс автоматизированной системы информационного диагностирования (мониторинга) энергетических режимов ДСП–25–И4

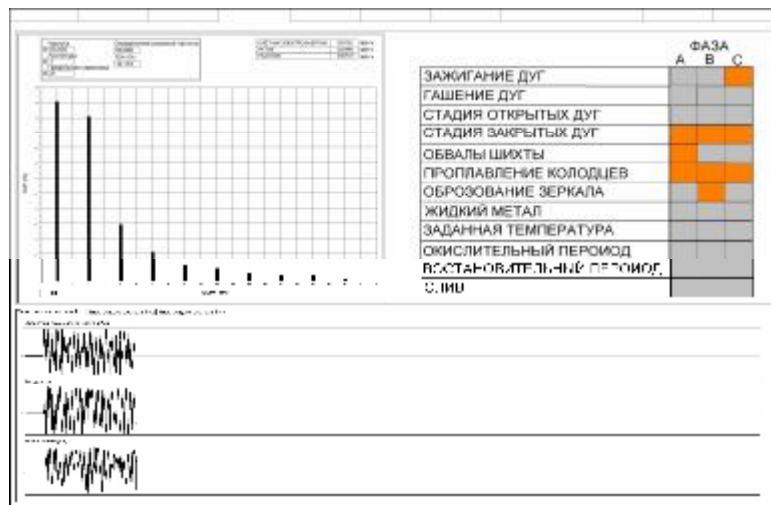


Рисунок 4 – Лицевая панель, отображающая моменты начала и конца стадий плавления шихты и нагрева металла

**ВЫВОДЫ.** 1. Реализован и апробирован алгоритм фиксации стадий плавления шихты и температуры жидкой стали, базирующийся на постоянном контроле с постоянной периодичностью всех энергетических режимов и процессов, протекающих в печном агрегате.

2. Определены основные этапы инструментально-технического учёта и контроля (мониторинга) энергетических ресурсов, реализация которых позволяет удовлетворить требования эксплуатационных служб, обусловленных особенностями функционирования объекта исследования (печной агрегат).

3. Разработана функциональная структура системы инструментально-технического учёта и контроля (мониторинга) энергетических ресурсов (АСИТУКЭР), что позволило выполнить её программную реализацию с помощью программного пакета LabVIEW 2010 (National Instruments, США).

4. Дальнейшие исследования следует посвятить разработке базы данных по инструментально-техническому учёту и контролю (мониторинга) энергетических ресурсов с целью обеспечения возможности реализации интеллектуальных алгоритмов для фиксации стадий технологических режимов функционирования печного агрегата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапшин И.В. Автоматизация технологических процессов дуговой сталеплавильной печи. – М.: МИСиС, 2002. – С. 157.
2. Управление режимом плавки в дуговой электропечи переменного тока с целью защиты холодильников стен печи / М. Кноп, Р. Лихтербек, З. Келе, Ю. Зинг // *Черные металлы*. – 1997. – № 7. – С. 8–13.
3. Контроль и автоматизация металлургических процессов / Г.М. Глинов, А.И. Косырев, Е.К. Шевцов. – М.: Металлургия, 1989. – С. 352.
4. Повышение эффективности управления дуговой печью переменного тока // АО «Черметинформация». *Новости черной металлургии за рубежом*. – 2002. – № 2. – С. 47–48.
5. Оптимизация управления электродуговых печей с использованием нейронных сетей / М. Рис, Р. Сессельман // *Труды 3-го конгресса сталеплавыльщиков*. – М., 1995. – С. 153–162.
6. Марков Н.А. Электрические цепи и режимы дуговых электропечных установок. – М.: Энергия, 1975. – С. 204.
7. Система оптимального управления электрическим режимом дуговой печи, питаемой через регулируемый реактор / О.Ю. Лозинский, Я.С. Паранчук // *Электрометаллургия*. – 2007. – № 8. – С. 23–31.

SYNTHESIS OF INFORMATION-DIAGNOSTIC SYSTEM OF DETERMINING OF THE STAGES OF ENERGY REGIMES OF ELECTRIC ARC STEELMAKING FURNACE

S. Ivashkin

Kremenchuk steel casting works, OJSC  
vul. Prihodko, 141, Kremenchuk, 39621, Ukraine. E-mail: sergeyiv@i.ua

S. Prytchyn, I. Oksanich

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: spmywork@ukr.net

Informational diagnostics (monitoring) of operating energy regimes of three-phase electric arc steel-melting furnace was reviewed. The methods to improve the accuracy of charge melting stages (phases) fixation and liquid metal temperature, and features of information diagnostic (monitoring) energy regimes was reviewed and analyzed. The advantages and disadvantages of these methods were emphasized. The algorithm of fixation of charge melting stages (phases) and liquid steel temperature based on continuous control of all the energy regimes and processes in the furnace with constant frequency was software implemented and tested.

**Key words:** informational diagnostics (monitoring), energy regimes, charge melting stage, liquid metal temperature.

REFERENCES

1. Lapshin, I.V. *Automation of technological processes in electric arc steelmaking furnace*. – М.: MISIS, 2002. – 157 p. [in Russian]
2. Mode control of melting in electric arc furnace AC with a view to the protection of the refrigerator walls of the furnace/ М. Knop, Р. Lihterbek, Z. Kehle, Y. Zing // *Black metals*. – 1997. – 7. – PP. 8–13. [in Russian]
3. *Control and automation of metallurgical processes* / G.M. Glinkov, A.I. Kosyrev, E.K.. Shevtsov. – М.: Metallurgy, 1989. – 352 p. [in Russian]
4. Increasing efficiency of management of the electric arc furnace AC // «*Chermetinformatsiya*» JSC (Russia). *News of ferrous metallurgy abroad*. – 2002. – № 2. – P. 47. [in Russian]
5. Optimization of management of electric arc furnaces using neural networks / М. Rice, R. Sesselman // *Proceedings of the 3-rd Congress of steelworkers*. – М., 1995. – PP. 153–162. [in Russian]
6. Markov N. *Electrical circuits and modes of arc electric furnaces plants*. – М.: The energy. 1975. – 204 p. [in Russian]
7. The system of optimal control of the electric mode of the electric arc furnace, nurtured through adjustable reactor / O.Y. Lozinsky, Y.S., Paranchuk // *Electrometallurgy*. – 2007. – № 8. – PP. 23–31. [in Russian]

Стаття надійшла 28.09.2012.  
Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Чорним О.П.