

# **ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**№ 2 (21) 2017**

Журнал входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

## **Редакционный совет**

### **Председатель ред. совета:**

**В. А. Бигеев** - проф., д-р техн. наук ФГБОУ  
ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

### **Члены ред. совета:**

**К. Н. Вдовин** – д-р техн. наук, проф.  
ФГБОУ ВО «МГТУ»

**В. М. Колокольцев** – ректор ФГБОУ ВО  
«МГТУ им. Г.И. Носова»,  
проф., д-р техн. наук,

**К. К. Каскин** – канд. техн. наук, проф.  
Актюбинского государственного  
университета, Казахстан

**Збигнев Конопка** – д-р техн. наук, проф.  
Ченстоховского технологического  
университета, Польша

**А. Карасев** – доцент KTH Royal Institute  
of Technology, Швеция

**О. Островский** – д-р техн. наук, проф.  
UNSW, Австралия

**Райле Виктор** – кандидат технических наук,  
Германия

**О. Ю. Шешуков** – д-р техн. наук, проф.  
ГУ ИМетРАН, ФГАОУ ВО «УрФУ имени  
первого Президента России Б. Н. Ельцина»

### **Главный редактор:**

**А. С. Савинов** – директор института метал-  
лургии машиностроения и материалообра-  
ботки ФГБОУ ВО  
«МГТУ им. Г.И. Носова», д-р техн. наук.

### **Научный редактор:**

**Н. Ш. Тютеряков** – канд. техн. наук,  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

### **Технический редактор:**

**В. В. Радомская**

**Ю. А. Извеков** – проф., канд. техн. наук,  
доц. ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

### **Дизайнер:**

**Е. О. Харченко**

© ФГБОУ ВО «МГТУ», 2017

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
(455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д.38).

16+, в соответствии с Федеральным законом № 436–ФЗ от 29.12.10.

### **Адрес редакции:**

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Тел.: (3519) 29-84-64.

Е-mail: ТТaPEoMP@mail.ru ; tmp@mail.ru

Журнал подготовлен к печати издательским центром МГТУ  
им. Г. И. Носова, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова,  
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Выход в свет: Заказ. Тираж 500 экз.  
Цена свободная.

# ***THE THEORY AND PROCESS ENGINEERING OF METALLURGICAL PRODUCTION***

---

**No. 2 (21) 2017**

---

The journal is incorporated into databases of the Russian Science Citation Index (RSCI)

---

## **Editorial Board Members**

### **Chairman:**

**V. A. Bigeev** - D. Sc., Professor,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University

### **Honorary Board Members:**

**K. N. Vdovin** – D.Sc., Professor,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University

**V. M. Kolokoltsev** – D. Sc., Professor,  
Rector of Nosov Magnitogorsk State Technical  
University

**K. K. Kaskin** – Ph.D., Professor,  
Aktjubinsk State University, Kazakhstan

**Z. Konopka** – D.Sc., Professor,  
Czestochowa University of Technology,  
Poland

**A. Karasev** – Ph.D., Docent, KTH Royal Institute  
of Technology, Sweden

**Raile Wiktor** – Bloom engineering (Europa),  
GMBH

**O. Ju. Sheshukov** – D.Sc., Professor, alloys  
Federal State Autonomous Educational  
Institution of Higher Professional Education  
«Ural Federal University named after the first  
President of Russia B.N.Yeltsin»

### **Editor-in-Chief:**

**A.S.Savinov** – Director of Metallurgy Mechanical Engi-  
neering and Materials Processing Institute D.Sc., Nosov  
Magnitogorsk State  
Technical University

### **Scientific Editor:**

**N.S.Tyteriakov** – Ph.D., Nosov Magnitogorsk State  
Technical University

### **Technical Editor:**

**V.V. Radomskaya**

**Y.A. Izvekov** – Professor, Ph.D., Nosov Magnitogorsk  
State Technical University

### **Designer:**

**E.O. Harchenko**

© FSBEI of HE “Nosov Magnitogorsk State Technical University”, 2017

Founder – Nosov Magnitogorsk State Technical University  
(38, pr. Lenina, Magnitogorsk 455000, Chelyabinsk Region.)

16+ in accordance with Federal Law #436-FZ dated 29.12.10

### **Editorial office:**

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia

Tel.: +7 (3519) 29-84-64.

E-mail: TTaPEoMP@mail.ru ; ttmp@mail.ru

Prepared for the publication by the NMSTU publishing center,

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia

Printed by the NMSTU printing section,

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia.

Publication date: Order. Circulation: 500. Open price.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ</b> .....	4
Сергеев Д.С., Колесников Ю.А. Структура теплового баланса кислородно- конвертерной плавки при различной доле чугуна в металлошихте.....	4
Метелкин А.А., Шешуков О.Ю., Левчук В.В., Савельев М.В., Котляров А.А., Шевченко О.И. К вопросу об оптимальной стойкости футеровки конвертеров.....	7
<b>МЕТАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ</b> .....	11
Давлеткильдина Л.З., Ефимов А.В., Чернов В.П. Влияние высокотемпературной обработки и наносекундного электромагнитного импульса на структуру и свойства стальных отливок.....	11
<b>РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ</b> .....	15
Свечникова Н. Ю., Игуменшева Е. А., Коновницына Н. С., Кухаренко О.Г., Куклина О.В., Хасанзянова А.И. Использование отходов флотации угля в качестве нетрадиционного топлива.....	15
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ И САПР МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА</b> .....	21
Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Сухоносова Т.Г. Совершенствование автоматического управления процессом промышленного сжигания газа путем энергосберегающего пропорционирования расходов топлива и воздуха.....	21
Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Хабибуллин Ш.М. Исследование динамики износа мельницы полусамоизмельчения путем математического моделирования.....	27
<b>ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТАЛЛУРГИИ</b> .....	32
Куряев Д.В., Авдиенко А.В., Иванов Д.М., Бойко А.Б. Производство прокатных валков в условиях зао «мзпв»32	32

## CONTENTS

<b>STEELMAKING</b> .....	4
Sergeyev D.S., Kolesnikov Y.A. Structure of thermal balance of oxygen and converter melting at a different share of cast iron in metalfurnace charge.....	4
Metelkin A.A., Sheshukov O.Y., Levchuk V.V., Kotlyarov A.A., Shevchenko O.I. To the question of the optimum stability of the converter lining.....	7
<b>MATERIAL SEIENCE AND HEAT TREATMENT OF METALS</b> .....	11
Davletkildina L.Z., Efimov A.V., Chernov V.P. THE Influence of high temperature processing and nanosecond electromagnetic pulses on the structure and properties of steel castings.....	11
<b>RESAERCE AND ENERGY SAVING TECHNOLOGIES OF FERROUS METALLURGU</b> .....	15
Svechnikova N.Y., Igumensheva E.A., Konovnitsyna N.S., Kuharenko O.G., Kuklina O.V., Hasanzyanova A.I. Use of waste of flotation of coal as nonconventional fuel.....	15
<b>AUTOMATIZATION AND CAD-SYSTEM OF METALLURGICAL PRODUCTION</b> .....	21
Parsunkin B.N., Andreev S.M., Sukhonosova T.G. Improvement of automatic control of the gas combustion industrial process by the energy-saving volumetric proportioning flow of fuel and air.....	21
Vdovin K.N., Feoktistov N.A., Khabibullin Sh.M. Research of dynamics of wear of a mill of semi-self-crushing by mathematical modeling.....	27
<b>COMMON ISSUES OF METALLURGRY</b> .....	32
Kuryaev D.V., Avdienko A.V., Ivanov D.M., Boyko A.B. Production of milling rolls in the conditions of cjsc «mzpv»32	32

# МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

УДК 669.184.046.516:622.341.15'185

Сергеев Д.С., Колесников Ю.А.

## СТРУКТУРА ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ДОЛЕ ЧУГУНА В МЕТАЛЛОШИХТЕ

**Аннотация.** В данной статье приведены результаты расчета составляющих теплового баланса кислородно-конвертерной плавки стали при различной доле чугуна в металлической шихте. Дополнительно были рассчитаны охлаждающие эффекты различных шихтовых материалов (лома, известняка, сырого доломита и т.д.) в кислородном конвертере по технологии выплавки стали, проводимой без промежуточного спуска шлака. Было уделено внимание рассмотрению возможности применения сидеритовой железной руды в качестве комплексного материала охладителя-флюса. Расчет проводился по модернизированной математической модели и программе, созданной в среде Microsoft Excel, в основу которой была положена система балансовых уравнений, решаемых совместно методом итераций. Представлены данные расчета прихода и расхода тепла плавки на тонну стали при стандартной металлошихте, а также при повышении доли чугуна. Получены графические зависимости изменения теплового баланса плавки.

**Ключевые слова:** выплавка стали, доля чугуна в металлошихте, сидеритовая железная руда, кислородно-конвертерный процесс, тепловой и шлаковый режимы плавки, математическое моделирование, эксперименты, шихтовые материалы.

За последние 20 лет в целом доля лома в металлошихте сталеплавильного производства неуклонно снижается [1, - 3]. Например, в ККЦ ОАО «ММК» доля чугуна в металлошихте колеблется от 75 до 87 % (в среднем 79,5 %). Здесь с повышенной долей чугуна (более 80 %), как правило, выплавляются стали повышенного качества: трубные для магистральных газопроводов, судостроительные, автокузовные и т.д. При увеличении доли чугуна возрастает удельный приход физического и химического тепла в процесс [4, - 7]. Это заставляет конвертерщики применять альтернативные лому охладители ванны: железорудные окатыши, агломерат, окалину, известняк, сырой доломит и т.п. Все эти материалы в той или иной степени являются еще и твердыми окислителями, а последние два - одновременно и шлакообразующими [8, - 11]. Например, доломит (наряду с другими магниезальными материалами) обеспечивает в конвертерных шлаках содержание MgO в пределах 8 - 12 %, что продлевает сроки службы футеровки конверторов [12, - 15].

В связи с этим встает задача количественно оценить тепловой баланс конвертерной плавки с повышенной долей чугуна [16, 17]. По модели и программе, разработанными на кафедре ТМиЛП ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», сделаны расчеты материальных и тепловых балансов плавки с разным расходом чугуна [17, - 19]. Также были определены охлаждающие эффекты различных материалов, которые использовались на плавку. Так, один процент сидерита от массы металлошихты (4 т) снижает температуру металла на 37 °С, в то время как известняк – на 28 °С, сырой доломит – на 31 °С, ожеженный доломит, лом и скрап

(металлопродукт шлакопереработки) – на 14 °С. Была оценена возможность использования сидеритовой руды как материала, выполняющего функции твердого окислителя-охладителя. Она также может быть рекомендована к применению в конвертерных цехах, работающих с повышенной долей чугуна в металлошихте.

В таблице представлены данные расчета при обычном расходе лома 22 % и чугуна 78 %.

Данные расчета прихода и расхода тепла на тонну стали, МДж

Физическое тепло чугуна	1,111
Химическое тепло чугуна	1,110
Тепло на металл	1,442
Тепло на шлак	0,341
Тепло на газы	0,200
Тепловые потери	0,122
Другие затраты	0,115

На рис. 1 и 2 представлен тепловой баланс прихода и расхода тепла на тонну стали в зависимости от расхода чугуна в металлошихте.

Из рис. 2 видно, что избыток тепла при повышении доли чугуна в металлической шихте с 78 до 92,7% возрастает примерно в четыре раза, и его нужно компенсировать вводом дополнительных охладителей.

© Сергеев Д.С., Колесников Ю.А., 2017

Таким образом, проведенный анализ структуры теплового баланса кислородно-конвертерной плавки при различной доле чугуна в металлошихте позволил количественно оценить возникающий профицит тепла и обосновать необходимость применения дополнительных охладителей. В дальнейшем предлагаемые рекомендации будут проверены в промышленных условиях.

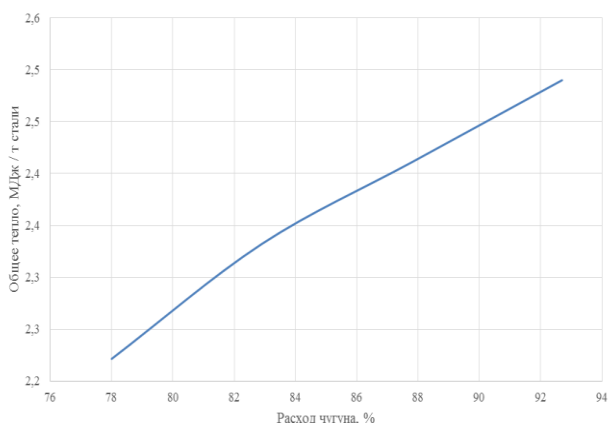


Рис. 1. – Зависимость общего тепла на тонну стали от расхода чугуна

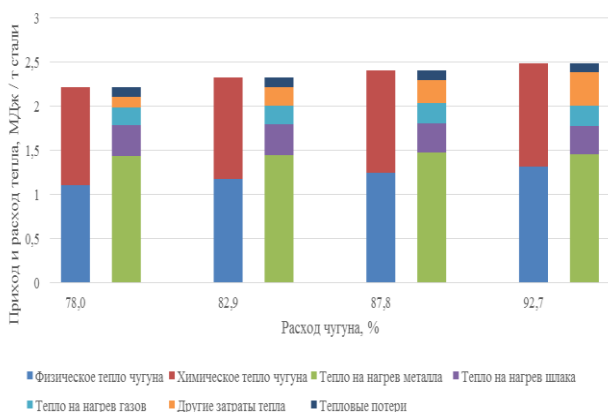


Рис. 2. - Гистограммы баланса прихода и расхода тепла на тонну стали в зависимости от расхода чугуна

Список литературы

1. Опыт выплавки стали в сверхмощной дуговой печи с повышенным расходом твердого чугуна / Бигеев В.А., Валиахметов А.Х., Йе-нер Б., Федянин А.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 15-18.
2. Григорович К.В. Настоящее и будущее технологическое производство сталей XXI века // Сборник тезисов докладов сателлитной конференции XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии V Международной конференции-школы по химической технологии. М., 2016. С. 45-47.
3. Леонтьев Л.И., Григорович К.В., Костина М.В. Фундаментальные исследования как основа создания новых материалов и технологий в области

металлургии. Ч. 1 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 1. С. 11-22.

4. Теоретические и технологические решения повышения стойкости футеровки кислородных конвертеров и современных ДСП / Бабенко А.А., Смирнов Л.А., Михайлова Л.Ю., Ушаков М.В., Спиринов С.А., Сычев А.В. // Химия и металлургия комплексной переработки минерального сырья. 2015. С. 226-234.
5. Бигеев В.А., Колесников Ю.А., Сергеев Д.С., Состояние и перспективы использования сидеритовых руд бакальского месторождения в черной металлургии // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.А. Бигеева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Вып. 1 (13). С. 4 – 8.
6. Колесников Ю.А., Бигеев В.А., Сергеев Д.С. Расчет технологических параметров выплавки стали в конвертере с использованием различных охладителей // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.А. Бигеева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Вып. 2(15). С. 45 – 46.
7. Применение методов пирометрии и гидрометаллургии для переработки сидеритовых руд / Колокольцев В.М., Бигеев В.А., Клочковский С.П., Смирнов А.Н., Бессмертных А.С. // Горный журнал. 2012. № S3. С. 22-24.
8. Савченко И.А., Смирнов А.Н., Турчин М.Ю. Подготовка высокомагнезиальных сидеритов бакальского рудного поля к металлургическому производству методами пирометрии и гидрометаллургии // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2016. Т. 16. № 3. С. 63-69.
9. Юрьев Б.П., Шацлло В.В., Меламуд С.Г. Методика определения расхода твердого топлива на обжиг сидеритовых руд в различных газовых средах // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2008. № 2. С. 8-11.
10. Klochkovskii S., Smirnov A. The principles of processing siderite ores with a high magnesium oxide content // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. 2012. vol. 326-328. P. 111-114.
11. Yur'ev B.P., Zhunev A.G. Particularities in sintering of bakal'skie siderite ores // Shuiyun Gongcheng. 1998. № 10. P. 5-10.
12. Smirnov A.N., Abdrakhmanov R.N., Turchin M.Y. Possibilities of a thermomechanical method for enriching magnesia-bearing raw materials to obtain quality magnesia // Refractories and Industrial Ceramics. 2016. vol. 57. № 2. P. 121-124.
13. Klochkovskii S., Smirnov A., Shabalina U. Thermodynamic and kinetic study of leaching magnesia from natural magnesites by carbon di-oxide // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. 2011. vol. 309-310. P. 261-264.
14. Барон Н.М. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. М., 2010. 200 с.

15. Бигеев В.А., Колесников Ю.А., Сергеев Д.С. Модель управления конвертерной плавкой стали // Приложение математики в экономических и технических исследованиях: сб. науч. тр. / под. ред. В.С. Мхитаряна. Магнитогорск: Изд-во ФГБОУ ВО «МГТУ», 2016. С. 283 - 294.
16. Бигеев А.М., Колесников Ю.А. Основы математического описания и расчеты кислородно-конвертерных процессов. М.: Metallurgy, 1970. 232 с.
17. Бигеев А.М. Математическое описание и расчеты сталеплавильных процессов. М.: Metallurgy, 1982. 160 с.
18. Свид. 2015660834 РФ. Расчет параметров выплавки стали в кислородном конвертере с верхней подачей дутья с использованием различных охладителей / Сергеев Д.С., Бигеев В.А., Колесников Ю.А., Ячиков И.М. Оpubл. 20.11.2015.
19. Пат. 2608008 РФ, МПК C21C5/28. Способ выплавки стали в кислородном конвертере / Сергеев Д.С., Бигеев В.А., Колесников Ю.А., Дудчук И.А. Оpubл. 11.01.2017. Б.И. № 2.

#### Сведения об авторах

**Сергеев Дмитрий Станиславович** - аспирант кафедры технологий металлургии и литейных процессов института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. Тел.: 8 (3519) 29-85-59. E-mail: dixord@mail.ru

**Колесников Юрий Алексеевич** - канд. техн. наук, доцент кафедры технологий металлургии и литейных процессов института металлургии, машиностроения и материалобработки ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. Тел.: 8 (3519) 29-85-59. E-mail: [v.bigeev11@yandex.ru](mailto:v.bigeev11@yandex.ru)

---

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

#### STRUCTURE OF THERMAL BALANCE OF OXYGEN AND CONVERTER MELTING AT A DIFFERENT SHARE OF CAST IRON IN METALFURNACE CHARGE

**Sergeyev Dmitry Stanislavovich** - Graduate student of department "Technologies of metallurgy and foundry processes", Institute of metallurgy, mechanical engineering and material processing, "Nosov Magnitogorsk State Technical University", Magnitogorsk, Russia. E-mail: dixord@mail.ru

**Kolesnikov Yuriy Alekseevich** - PhD (Eng.), Associate Professor of department "Technologies of metallurgy and foundry processes", Institute of metallurgy, mechanical engineering and material processing, "Nosov Magnitogorsk State Technical University", Magnitogorsk, Russia. E-mail: [v.bigeev11@yandex.ru](mailto:v.bigeev11@yandex.ru)

**Abstracts.** *This article presents the results of calculating the components of the heat balance (physical and chemical heat of cast iron, heat to metal, heat to slag, etc.) of oxygen-converter steel melting at a different proportion of cast iron in a metallic charge. In addition, the cooling effects of various charge materials (scrap, limestone, crude dolomite, etc.) were calculated in an oxygen converter using the technology of steel smelting conducted without intermediate slag discharge. Attention was paid to the possibility of using siderite iron ore as a complex coolant-flux material. The calculation was based on a modernized mathematical model and a program created in the Microsoft Excel environment, based on a system of balance equations that were solved jointly by the iteration method. Data are presented for calculating the heat input and heat consumption for a ton of steel with a standard metal charge, as well as increasing the share of cast iron. Graphic dependencies of the heat balance of the melting are constructed.*

**Keywords:** *Steel smelting, cast iron share in metal furnace charge, sideritic iron ore, oxygen and converter process, thermal and slag modes of melting, mathematical modeling, experiments, burdening materials.*

---

Ссылка на статью:

Сергеев Д.Ю., Колесников Ю.А. Структура теплового баланса кислородно-конвертерной плавки при различной доле чугуна в металошихте // Теория и технология металлургического производства. 2017. №2(21). С. 4-6.

Sergeev D.S., kolesnikov Y.A. Structure of thermal balance of oxygen and converter melting at a different share of cast iron in metal furnace charge. Theoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstv. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2017, vol. 21, no. 2, pp. 4-6.

УДК 669.187; 666.76

Метелкин А.А., Шешуков О.Ю., Левчук В.В., Савельев М.В., Котляров А.А., Шевченко О.И.

## К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ СТОЙКОСТИ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРОВ

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы об оптимальной стойкости футеровки конвертеров. Выявлены закономерности производительности конвертеров от стойкости футеровки. Показано, что при высокой стойкости футеровки время на уход за ней значительно возрастает, что приводит к снижению производительности агрегата. Рассчитана оптимальная стойкость футеровки конвертеров в условиях конвертерного цеха АО «ЕВРАЗ НТМК».

**Ключевые слова:** конвертер, футеровка, оптимальная стойкость.

В настоящее время основной целью металлургических заводов является производство стали с минимальными удельными затратами, к которым также можно отнести и расходы на огнеупорные материалы.

В футеровке конвертеров применяются перикла-зоуглеродистые изделия с содержанием углерода 8-14 %. Данный тип изделий обеспечивает стойкость конвертеров до уровня 7500 плавов [1]. Однако такая высокая стойкость футеровки в большинстве случаев обеспечивается не столько высоким качеством огнеупорных изделий, сколько технологией ухода за футеровкой металлургического агрегата [2]. В АО «ЕВРАЗ НТМК» основными направлениями по уходу за футеровкой являются:

1. Создание шлакового гарнисажа за счет раздува шлака с применением магнийсодержащих материалов.

2. Локальные ремонты футеровки, осуществляемые операциями торкретирования или наварки брикетами (огнеупорным боем).

Раздув шлака с применением магнезиальных материалов применяется после каждой плавки, а торкретирование и наварка брикетами - в зависимости от состояния футеровки.

При высокой стойкости конвертеров интенсивность ухода за футеровкой возрастает, что приводит к увеличению расходов на торкрет массы и брикеты на наварку, а также, что особенно важно, времени, необходимого для проведения этих операций. Это приводит к снижению производительности агрегатов.

Таким образом, можно рассчитать оптимальную стойкость футеровки конвертеров исходя из максимальной производительности агрегатов при минимальных удельных затратах на огнеупорные материалы.

При расчетах производительности конвертерного отделения учитывались следующие параметры:

- время, необходимое на выплавку металла;
- время, необходимое для перефутеровки конвертеров;
- время, необходимое для ухода за футеровкой конвертера.

Полученные результаты представлены на рис. 1.

Из данных, представленных на рис. 1, видно, что максимальная производительность конвертерного

отделения достигается при стойкости футеровки конвертеров 2800-3800 плавов.

Для анализа удельных затрат на футеровку и материалов по уходу за ней были отобраны три конвертера за период 2012-2014 годы. Для объективности оценки были отобраны агрегаты, зафутерованные огнеупорами одного производителя. Данные по удельным расходам представлены на рис. 2.

Далее сопоставляем удельные затраты и производительность конвертерного отделения (рис. 3). Для сопоставления графиков в соразмерные единицы удельные затраты были уменьшены в 35 раз.

Однако при расчете удельных затрат также необходимо учесть потери от недополученной прибыли, связанные с потерей производства металла. Результаты представлены на рис. 4.

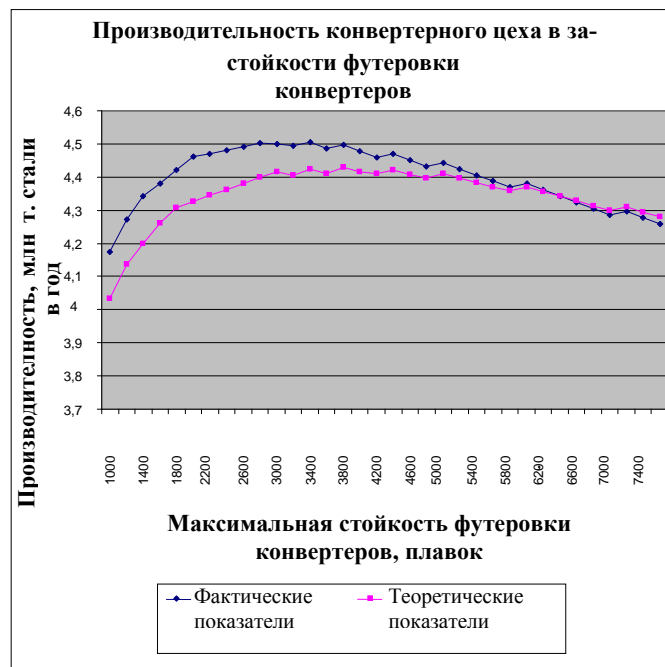


Рис. 1. Производительность конвертерного цеха в зависимости от стойкости футеровки конвертеров

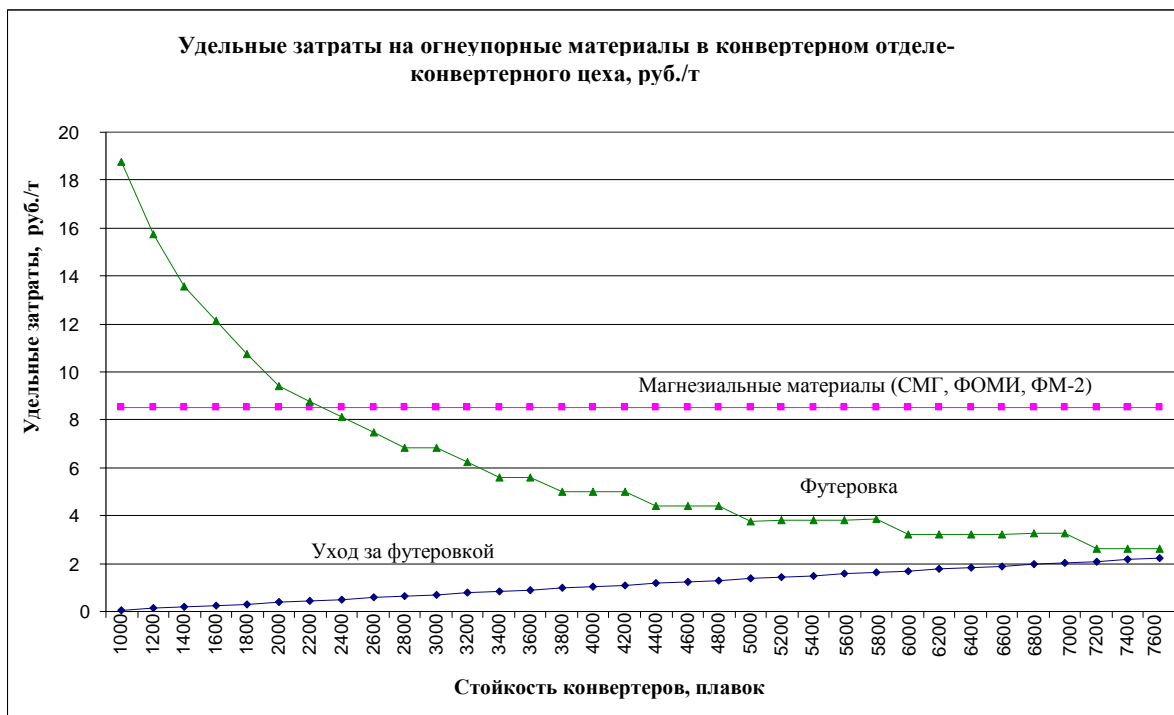


Рис. 2. Удельные затраты на огнеупорные материалы в конвертерном отделении

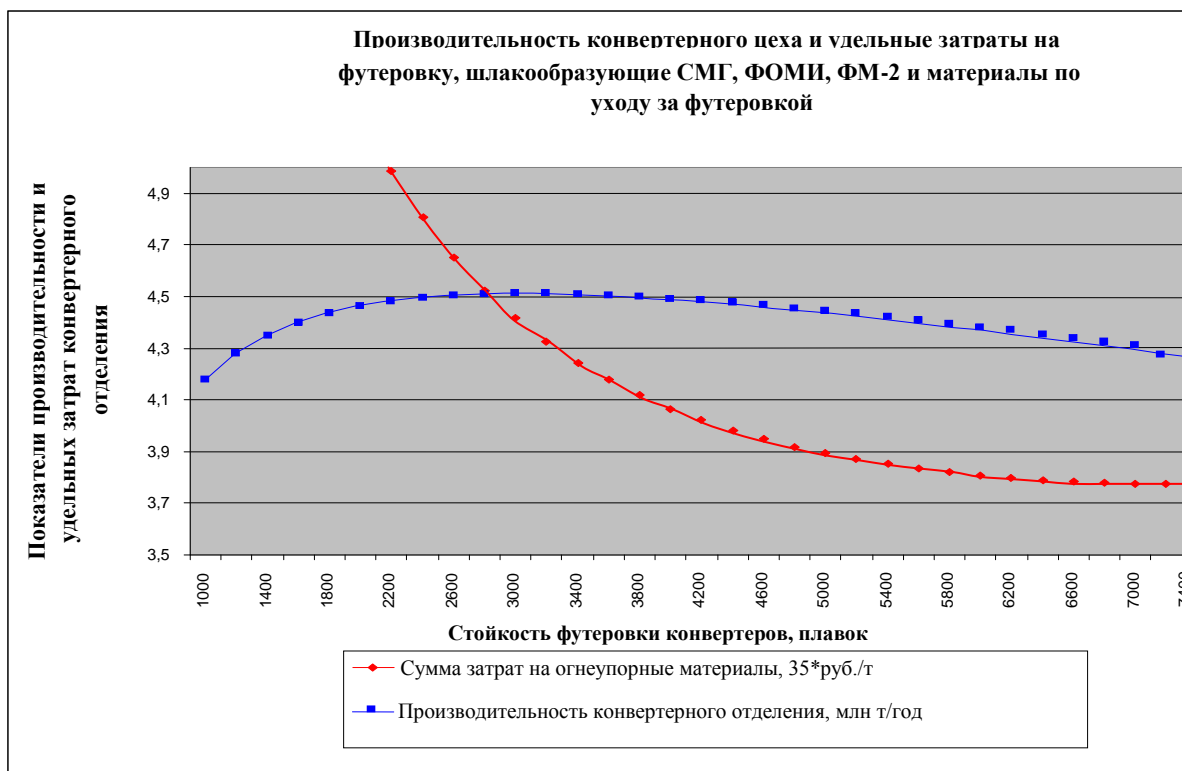


Рис. 3. Производительность конвертерного цеха и удельные затраты на футеровку, СМГ, ФОМИ, ФМ-2 и материалов по уходу за ней





Рис. 4. Производительность конвертерного цеха и удельные затраты на футеровку, шлакообразующие СМГ, ФОМИ, ФМ-2 и материалы по уходу за ней

**Выводы:**

1. Результаты расчетных исследований показали, что максимальная производительность конвертерного отделения достигается при стойкости футеровки конвертеров 2800-3800 плавков.
2. Сопоставление производительности конвертерного отделения с удельными затратами на огнеупорные материалы и материалы по уходу за футеровкой, а также с недополученной прибылью, связанной с потерей производства, показало, что оптимальная стойкость футеровки конвертеров составляет 3400-4000 плавков в зависимости от поставленных целей.

**Список литературы**

1. Филатов С.В., Вислогузова Э.А., Фомичев М.С., Шкляев А.В. Повышение стойкости футеровок металлургических агрегатов - эффективный путь снижения удельных затрат на огнеупорные материалы. «ЕВРАЗ НТМК» // Труды VI международной научно – практической конференции с элементами научной школы для молодежи, посвященной 80-летию ММК. «Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология», 15-20 октября 2012 г. М., 2012.
1. 2. Опыт эксплуатации и комплексная технология ухода за футеровкой конвертера / Шеремет В.А., Кекух А.В., Троцкий С.В., Стовпченко А.П., Бродский А.С., Павлюченко О.И. // Новые огнеупоры. 2006. №1. С. 4-6.

**Сведения об авторах**

**Метелкин Анатолий Алексеевич** – канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры металлургической технологии, Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал). Нижний Тагил, Россия. E-mail: anatoliy82@list.ru

**Шешуков Олег Юрьевич** – д-р техн. наук, проф., директор Института новых материалов и технологий УрФУ, главный научный сотрудник лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. Екатеринбург, Россия. E-mail: o.j.sheshukov@urfu.ru

**Левчук Владимир Владимирович** – технолог конвертерного цеха АО «ЕВРАЗ НТМК», Нижний Тагил, Россия. E-mail: vladimir.levchuk@evraz.com

**Савельев Максим Владимирович** – начальник бюро анализа и бюджетного контроля технического управления АО «ЕВРАЗ НТМК», Нижний Тагил, Россия.

**Котляров Алексей Александрович** – начальник участка конвертеров конвертерного цеха АО «ЕВРАЗ НТМК», Нижний Тагил, Россия. E-mail: aleksey.kotlyarov@evraz.com

**Шевченко Олег Игоревич** – д-р техн. наук, зав. кафедрой металлургической технологии, Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал). Нижний Тагил, Россия. E-mail: shevchenko\_oleg@mail.ru

---

*INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH*

---

**TO THE QUESTION OF THE OPTIMUM STABILITY OF THE CONVERTER LINING**

**Metelkin Anatoly Alekseevich** – Ph. D. (Eng.), Assistant Professor Department of Metallurgical Technology, Ural Federal University. The first President of Russia B.N. Yeltsin Nizhny Tagil Technological Institute (branch), Nizhny Tagil, Russia, E-mail: anatiy82@list.ru

**Sheshukov Oleg Yurievich** – D. Sc. (Eng.), Prof., Director of the Institute of New Materials and Technologies of the UrFU, Chief Researcher of the Ferrous Metals Laboratory of the IMET UrB RAS., Ekaterinburg, Russia. E-mail: o.j.sheshukov@urfu.ru

**Levchuk Vladimir Vladimirovich** - technologist of the BOF plant of JSC "EVRAZ NTMK", Nizhny Tagil, Russia. E-mail: vladimir.levchuk@evraz.com

**Savelyev Maxim Vladimirovich** - The Chief of Analysis and Budget Control Bureau of Technical Department of JSC "EVRAZ NTMK "

**Kotlyarov Alexey Alexandrovich** - Head of the converters section of the JSC "EVRAZ NTMK", Nizhny Tagil, Russia. E-mail: aleksey.kotlyarov@evraz.com

**Shevchenko Oleg Igorevich** – D. Sc. (Eng.), Head of Department of Metallurgical Technology, Ural Federal University. First President of Russia BN Yeltsin Nizhny Tagil Technological Institute (branch). Nizhny Tagil, Russia. E-mail: shevchenko\_oleg@mail.ru

**Abstract.** The questions of the optimum resistance of converter lining are considered. The regularities of converter productivity from the resistance of lining are identified. It is shown that with a high resistance of lining, the time to care for the lining increases significantly, which leads to a decrease in the productivity of the unit. Optimal resistance of the lining of the converters in the conditions of the converter shop of JSC "EVRAZ NTMK" is calculated.

**Keywords:** Converter, refractory lining, optimal resistance.

---

Ссылка на статью:

К вопросу об оптимальной стойкости футеровки конвертеров / Метелкин А.А., Шешуков О.Ю., Левчук В.В., Савельев М.В., Котляров А.А., Шевченко О.И. // Теория и технология металлургического производства. 2017. №2(21). С. 7-10.

To the question of the optimum stability of the converter lini / Metelkin A.A., Sheshukov O.Y., Levchuk V.V., Kotlyarov A.A., Shevchenko O.I. // Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2017, vol. 21, no. 2, pp. 7-10.

# МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.74:669.1

Давлеткильдина Л.З., Ефимов А.В., Чернов В.П.

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ И НАНОСЕКУНДНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

**Аннотация.** В процессе производства слитков, заготовок и отливок для подавления и предотвращения дефектов получили распространение многочисленные технологические приемы, которые с определенной степенью условности можно разделить по способу воздействия. Для подавления и предотвращения дефектов получили распространение многочисленные технологические приемы, воздействующие на слиток в процессе затвердевания. В основу динамических методов положен принцип принудительного физического воздействия на жидкую фазу в ходе затвердевания. Эти приемы обычно обеспечивают активное воздействие не только на тепло - и массоперенос в жидкой фазе, но также существенно изменяют характер протекания процессов в двухфазной зоне. Высокотемпературная обработка (ВТОР) относится к высокоэффективному и успешно развиваемому способу воздействия на расплав стали. Это один из способов теплового воздействия на металл. Он заключается в нагреве металла до определенной температуры, выдержке при этой температуре в течение определенного времени, а затем охлаждении до температуры разливки или же выдержки металла вблизи температур разливки. Происходит рафинирование и гомогенизация расплава стали, что приводит к повышению целого ряда различных служебных характеристик и качества самих отливок. Переходу системы в равновесное состояние или состояние, близкое к равновесному, способствует нагрев до этих высоких критических температур. Чем выше у расплава его степень равновесности и равномерности распределения в нем атомов легирующих компонентов, тем слабее наследственное влияние шихтовых материалов и стабильнее качество отливок [1, - 3].

В настоящее время применение высоковольтных нано - и субнаносекундных импульсов постоянно расширяется в связи с развитием и удешевлением аппаратуры их формирования. В данном случае генератор, с помощью которого осуществлялся эксперимент, содержит размыкатель тока, включенный параллельно нагрузке и накопителю (индуктивность или линия). Схемы с параллельными ключами существенно более надежны, чем с последовательными [4].

**Ключевые слова:** сталь, высокотемпературная обработка, электромагнитный импульс, частота, структура, зерно, твердость, износостойкость.

Основным способом для получения металлов без следов структурной наследственности является высокотемпературная обработка расплава. Она относится к одному из успешно развиваемых в России способах металлургического воздействия на стальной расплав. Тепловое высокотемпературное воздействие на расплав стали дает возможность нивелировать воздействия нежелательных примесей и получать необходимую структуру в отливках с меньшим размером зерна, а также повышенной пластичностью и прочностью металла. Осуществляется возможность регламентировать газовые и неметаллические включения. Повышаются упругие свойства сталей, увеличивается их температуропроводность.

Первоначально наносекундные электромагнитные импульсы (НЭМИ) без несущей частоты применялись для создания радиолокационных станций. Позднее НЭМИ стали использовать для обработки жидких материалов.

Существует три направления воздействия НЭМИ на вещества: воздействие на различные водные растворы; воздействие на расплавы металлов и сплавов; воздействие на жидкие углеводороды. Типичной для облучения расплавов металлов является установка, показанная на рис. 1. В данной установке тигель должен быть из проводящего материала - металла или

графита. Защитная кварцевая или алундовая трубка предназначена для изоляции излучателя от расплава. В качестве теории воздействия НЭМИ на металлы предложена гипотеза перехода электромагнитного импульса в акустический. Сравнение действия на металлы НЭМИ и акустических колебаний показало совпадение их воздействий на ряд свойств металлов [5, 6].

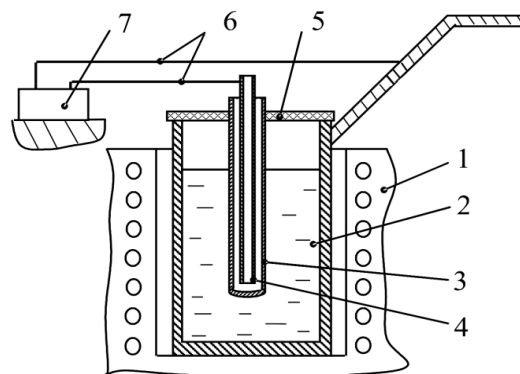


Рис. 1. Схема установки: 1 – печь сопротивления; 2 – токопроводящий тигель с расплавом; 3 – защитная трубка; 4 – излучатель; 5 – асбестовая крышка; 6 – подводный кабель; 7 – генератор импульсов  
Для обработки металлических расплавов подбирались

такие режимы работы генератора, которые обеспечивали наиболее заметное изменение структуры и свойств.

Выплавка в стали осуществлялась в индукционной тигельной печи емкостью 30 кг. При выплавке нагрев стали производили до 1800 °С, затем выдержка при этой температуре в течение 10 мин и после сразу разливка стали в сухую песчано-глинистую форму, в которой осуществлялась обработка наносекундным электромагнитным импульсом через графитовые электроды при процессе кристаллизации отливки (рис.4). Процесс нагрева стали представлен на рис. 2. Химический состав стали составляет: С - 1.4; Si - 0.44; Mn - 0.53; P - 0.018; S - 0.015; Cr - 0.99; Ni - 0.75; Cu - 0.13; V - 0.016; W - 0.011; Al - 0.030; Mo - 0.18; Nb - 0.003 %. Химический состав стали определялся на эмиссионном спектрометре «SPECTROMAX» фирмы «SPECTRO».

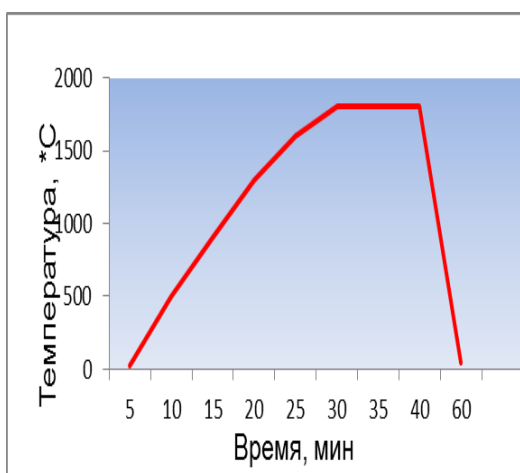


Рис.2. Процесс высокотемпературной обработки стали при ее выплавке

В данном эксперименте использовался генератор НЭМИ фирмы «FID Technology». Он содержит размыкатель тока, включенный параллельно нагрузке и накопителю (рис. 3).

В процессе заливки в сухую песчано-глинистую форму одновременно производилась подача наносекундного электромагнитного импульса на расплавленный металл. Отливка находилась под действием НЭМИ до полного затвердевания.

Структура литой стали состоит из зернистого перлита и тонкой цементитной сетки, а также имеются вкрапления карбидов. Она состоит из перлитной матрицы и вторичного цементита, выделившегося по границам дендритных ветвей и первичных зерен аустенита в виде сетки и грубых пластин, растущих от пограничной сетки внутрь дендритных ветвей. В междуветвях дендритов образуются участки эвтектического карбида. Вдоль сетки и пластин вторичного карбида образуется ферритная оболочка. В зависимости от скорости охлаждения ниже точки А1 эвтектоидный аустенит превращается либо в пластинчатый, либо частично в зернистый перлит [7]. Сталь заэвтектоидная (рис. 5).

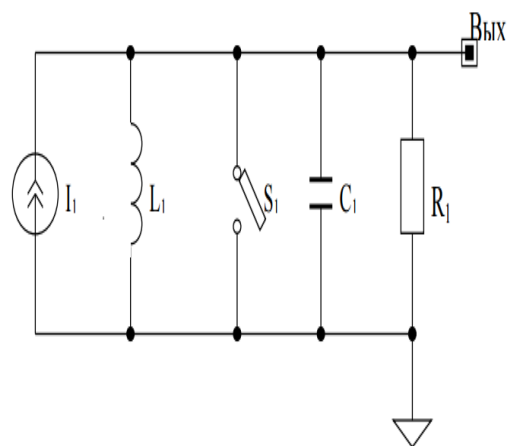


Рис. 3. Формирователи импульсов с параллельным размыкающим ключом: I1 – накопленный ток в L1; C1 – паразитная ёмкость ключа S1; R1 – сопротивление нагрузки

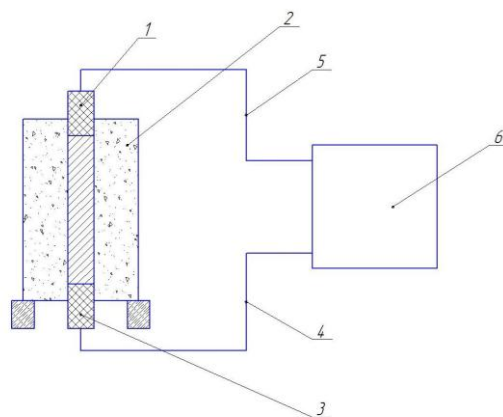


Рис.4. Отливка в форме с графитовыми электродами: 1 – графитовый электрод с активным анодом; 2 – песчано-глинистая форма; 3 – графитовый электрод с пассивным катодом; 4 – электрод с отрицательным полюсом; 5 – электрод с положительным полюсом; 6 – источник (НЭМИ)

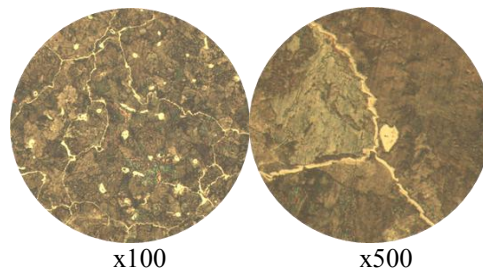


Рис.5. Структура литой стали

При перегреве без НЭМИ количество цементита уменьшилось. Цементитная сетка почти вся растворилась (матрица разрушилась), стала тонкой и разо-

рванной. Зерно значительно укрупнилось. Перлит из зернистого перешел в пластинчатый. Перегрев с НЭМИ структура состоит из эвтектики (механической смеси перлита и карбидов). Перлит обычный. Рост дендритов происходил в направлении к аноду при обработке НЭМИ, отсюда имеется направленная кристаллизация в сторону анода. Появились легированные карбиды правильной квадратной формы, возможно, это связано с направлением кристаллизации (рис. 6).

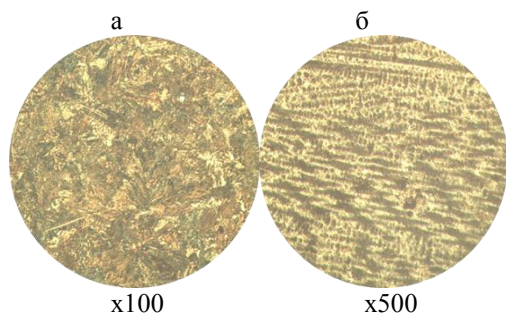


Рис.6. Структура стали: а - прошедшая (ВТОР); б – прошедшая (ВТОР) и (НЭМИ)

Высокотемпературная обработка способствует снижению твердости стали, повышению ее пластичности. Наносекундный электромагнитный импульс, используемый в процессе кристаллизации, во всех случаях способствует упорядочиванию и измельчению структуры стали, частично повышая ее твердость. Данные механических свойств представлены в таблице.

Наносекундный электромагнитный импульс, используемый при кристаллизации, без высокотемпературной обработки расплава измельчает и упорядочивает зерно стали, соотношение перлита к цементиту значительно не меняется. Цементитная сетка частично растворяется, становится более тонкой и прерывистой. Происходит упорядочивание всей структуры в целом (рис. 7). Повышается твердость и износостойкость.

Обработка расплава НЭМИ приводит к изменению количества и размеров зон кристаллизации. В обработанном металле быстро устанавливается направленный тепловой поток от центра слитка к стенкам формы, о чем свидетельствует преобладание в строении слитка зоны столбчатых кристаллов. Наблюдается изменение формы эвтектических выделений, происходит повышение твердости металла.

#### Сведения об авторах

**Давлеткильдина Лейсян Закировна** – магистрант, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

**Ефимов Андрей Витальевич** – аспирант, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: Unspok@mail.ru.

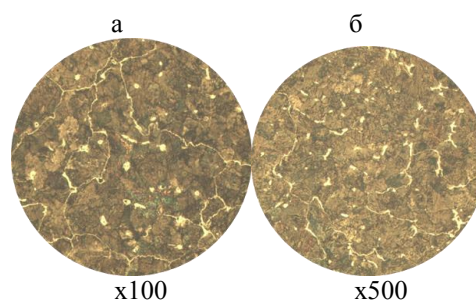


Рис.7. а - структура литой стали; б – кристаллизация с (НЭМИ)

#### Механические свойства

Образец	Твердость, HRC	Ки
Литой	45 - 46	1,18
(ВТОР)	30 – 32	0,81
(ВТОР) и (НЭМИ)	37 - 39	0,75
(НЭМИ)	51 - 52	1,50

#### Список литературы

1. Коваленко Л.В., Панов А.Г. Применение внешних воздействий при затвердевании слитков. М.: Металлургия, 2003. 153 с.
2. Савина Л.Г. Влияние высокотемпературной обработки расплава на структуру и свойства высокоуглеродистых сплавов железа: дис. канд. техн. наук. Екатеринбург, 2003. 129 с.
3. Жидкая сталь / Баум Б.А., Хасин Г.А., Тягунов Г.В., Клименков К.А. М.: Металлургия, 1984. 208 с.
4. Крымский В.В., Литвинова Е.В., Шабурова Н.А. Воздействие импульсных электромагнитных полей на свойства веществ: конспект лекций. Челябинск, 2010. С. 5
5. Крымский В.В., Литвинова Е.В. Излучатели наносекундных волн. Челябинск: ООО «ЦПС Сварка и контроль», 2010. 133 с.
6. Романова А.В. Структура и свойства металлических расплавов // Металлы, электроны, решетка. Киев: Наук. думка, 1975. 217 с.
7. Ефимов А.В., Чернов В.П. Термовременная обработка отливок из стали марки 150ХНМ // Вестник Магнитогорского технического университета им. Г.И. Носова. 2017. №1. С. 79–84.
8. Чернов В.П., Насонов П.Н. Исследование свойств отливок, закристаллизованных в форме и в термической печи // Теория и технология металлургического производства. 2010. №1. С. 103-107.

**Чернов Виктор Петрович** - д-р техн. наук, проф., Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

---

*INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH*

---

**THE INFLUENCE OF HIGH TEMPERATURE PROCESSING AND NANOSECOND ELECTROMAGNETIC PULSES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL CASTINGS**

**Davletkildina Leysan Zakirovna** - Graduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Efimov Andrey Vitalievich** - Graduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.  
E-mail: Unspok@mail.ru.

**Chernov Viktor Petrovich** – D. Sc. (Eng.), Professor. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Abstract.** In the process of production of ingots, blanks and castings for the suppression and prevention of defects has spread to many technological methods, which with a certain degree of conditionality can be divided by way of exposure. To suppress and prevent defects have spread numerous technological methods of influencing the ingot in the solidification process. The basis of the dynamic methods based on the principle of forced physical impact on the liquid phase during solidification. These techniques usually provide active impact not only on heat and mass transfer in the liquid phase, but also greatly change the nature of the processes in the two-phase zone. Heat treatment refers to a highly efficient and successfully develop the method of influence on the melt of steel. This is one of the ways thermal effects on the metal. It consists in heating the metal to a certain temperature, holding at this temperature for a certain time, and then cooling to the temperature of pouring or soaking of metal close to the pouring temperature. Is the refining and ho-mogenization of the molten steel, leading to increase in a range of different service characteristics and the quality of the castings. The transition of the system to equilibrium, or as close to equilibrium, contributes to the heating to these high critical temperatures. The higher melt his degree of equilibrium and the uniform distribution in it of atoms of the alloying elements, the weaker genetic effect of charge materials and stable quality castings.

At present, the application of high voltage nano - and subnanosecond pulses is constantly growing in connection with the development and cheapening of apparatus for their formation. In this case, the generator is of the type in which it contains a current breaker connected in parallel to the load and drive (inductance or line). Scheme with parallel keys is significantly more secure than with a serial.

**Keywords:** Steel, heat treatment, electromagnetic pulse, frequency, structure, grain, hardness, wear resistance.

---

Ссылка на статью:

Давлеткильдина Л.З., Ефимов А.В., Чернов В.П. Влияние высокотемпературной обработки и наносекундного электромагнитного импульса на структуру и свойства стальных отливок // Теория и технология металлургического производства. 2017. №2(21). С. 11-14.

Davletkildina L.Z., Efimov A.E., Chernov V.P. The influence of high temperature processing and nanosecond electromagnetic pulses on the structure and properties of steel castings // Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2017, vol. 21, no. 2, pp. 11-14.

# РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 662.749:519.85

Свечникова Н. Ю., Игуменшева Е. А., Коновницына Н. С., Кухаренко О.Г., Куклина О.В, Хасанзянова А.И.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИИ УГЛЯ В КАЧЕСТВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО ТОПЛИВА

**Аннотация.** Изучены отходы флотации ООО «ММК-Уголь» с целью возможности их использования в установках для сжигания высокозольных углей. На основе технического анализа и теплотехнических расчетов обоснована возможность использования отходов флотации в смеси с рядовым углем в качестве сырья в топках низкотемпературного кипящего слоя (НТКС). Использование отходов в качестве топлива в топке НТКС в чистом виде нецелесообразно из-за высокой влажности и зольности. Поэтому были составлены смеси различных составов. Анализы показали, что оптимальной по низкой теплоте сгорания рабочего топлива и расходу сжигаемой смеси является смесь состава: 10% отходов и 90% рядового угля марки «Г». Использование данной смеси в топке НТКС позволит осуществить сушку угольного концентрата с производительностью 164 т/ч, снизить эксплуатационные затраты на содержание отстойников, а также сократить нерациональное отчуждение земельных ресурсов и при эффективной системе очистки дымовых выбросов обеспечить снижение загрязнений окружающей среды.

**Ключевые слова:** уголь, отходы флотации, топка низкотемпературного кипящего слоя (НТКС), теплота сгорания.

2017 год в России объявлен годом экологии, основной задачей которого является обеспечение экологической безопасности и сохранение уникальной природы России, внедрение наилучших доступных природоохранных технологий, улучшение экологических показателей регионов, а также совершенствование системы управления отходами [1, - 5].

Анализ исследований показал, что одним из основных направлений использования отходов добычи и обогащения каменного угля является сжигание в установках для высокозольных отходов [6, - 8]. К такому топливу предъявляют определенные требования: допустимая влажность не должна превышать 20-40 %, зольность сжигаемых углей может находиться в пределах от 15 до 80 %, выход летучих веществ - в пределах 15-18 %, гранулометрический состав частиц топлива не должен превышать 20 мм.

В работе были изучены отходы флотационного отделения ООО «ММК-Уголь». Технический анализ показал, что отходы представляют собой сфлукулированные гранулы крупностью менее 13 мм, влажностью 19,7-28,0%, зольностью 65-70% с выходом летучих 16,6 % [9, - 14], что соответствует условиям применения нетрадиционного топлива в топках низкотемпературного кипящего слоя (НТКС).

Содержание минеральных компонентов в отходах представлено в табл.1.

Теплотехнический расчет горения отходов при начальной влажности 19,8% и конечной 8% показал, что их расход для получения тепла в предлагаемой топке очень велик (табл. 2), использование их в чистом виде нецелесообразно. Это связано с высокой зольностью отходов - до 70% и влажностью - до 28%.

Поэтому с целью использования их в качестве нетрадиционного топлива в НТКС для получения тепла, направляемого на сушку флотационного концентрата, изучены теплотехнические свойства смесей отходов флотации угля с рядовым углем марки «Г». Были составлены следующие смеси: 90% отходы + 10% уголь «Г»; 50% отходы + 50% уголь «Г»; 30% отходы + 70% уголь «Г»; 10% отходы + 90% уголь «Г»; 100% уголь «Г».

Термоаналитическое исследование провели на синхронном термическом анализаторе STA 449 NETZSCH в динамическом режиме со скоростью нагрева 10 град/мин в потоке воздуха 30 см<sup>3</sup>/мин в интервале температур 30-1000 °С. Преимуществом данного метода является высокая чувствительность. Определили: низшую теплоту сгорания углесодержащих материалов, изменение массы при прокаливании (ИМПП), изменение и скорость изменения массы образца (кривая ТГ и ДТГ), тепловой эффект процесса (кривая ДСК), температуры начала, конца и максимального развития термических эффектов. В табл. 3 представлены низшие теплоты сгорания исследуемых смесей.

Из таблицы следует, что наименьшую теплоту сгорания имеет смесь состава 90% отходы и 10 % уголь «Г», которая составила 8718 Дж/г, наибольшую - 100% уголь «Г» -16920 Дж/г.

На рис. 1-2 представлены кривые теплового эффекта (ДСК) смесей 90:10 и 10:90.

На всех кривых ДСК фиксируются два экзотермических эффекта: один в интервале температур 300-400 °С, другой - 400-700 °С, на кривых ТГ наблюдается значительная потеря массы, что свидетельствует о протекании процесса горения угольного материала (табл.4).

Таблица 1  
Содержание минеральных компонентов в отходах флотации углей

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Содержание в рядовых отходах, масс. %	26,8	8,88	1,34	2,23	1,13	0,67	0,34	0,10

Таблица 2  
Теплотехнический расчет горения отходов

Теплота сгорания низшая рабочая, кДж/кг	Расход тепла на испарение влаги, ГДж/т	Объём продуктов сгорания смеси, м <sup>3</sup> /кг	Температура продуктов сгорания, °С	Энтальпия продуктов сгорания, кДж/м <sup>3</sup>	Энтальпия воздуха на разбавление, кДж/м <sup>3</sup>	Объём сушильного агента, м <sup>3</sup> /кг	Расход сжигаемой смеси, т/ч
1811	48380	1,17	1050	2060	26	5,6	19,155

Таблица 3  
Теплоты сгорания (низшие) исследуемых смесей

Смесь состава, % Отходы: Уголь «Г»	Q <sub>сгор.</sub> ДЖ/Г
90 : 10	8718
50 : 50	12594
30 : 70	14399
10 : 90	15189
0: 100	16920

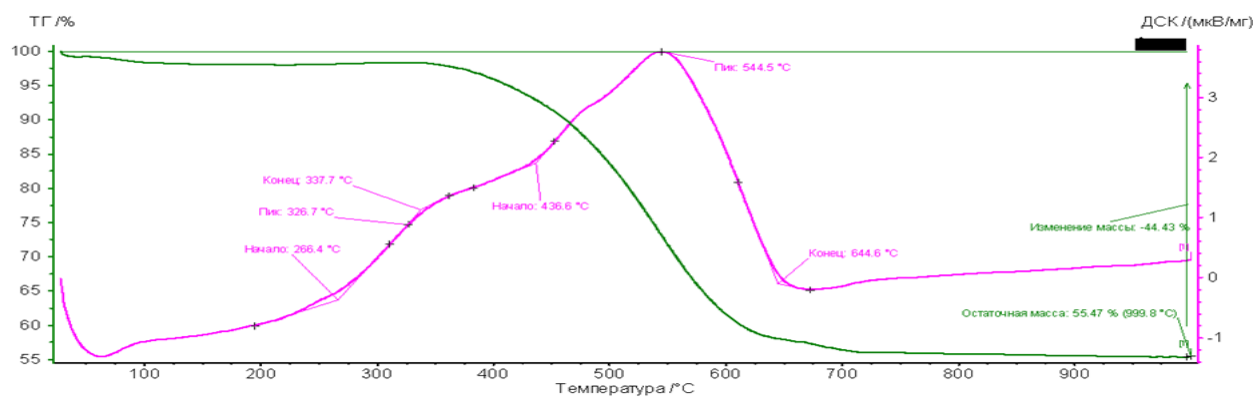


Рис.1. Кривая ДСК смеси 90% отходы и 10 % уголь «Г»

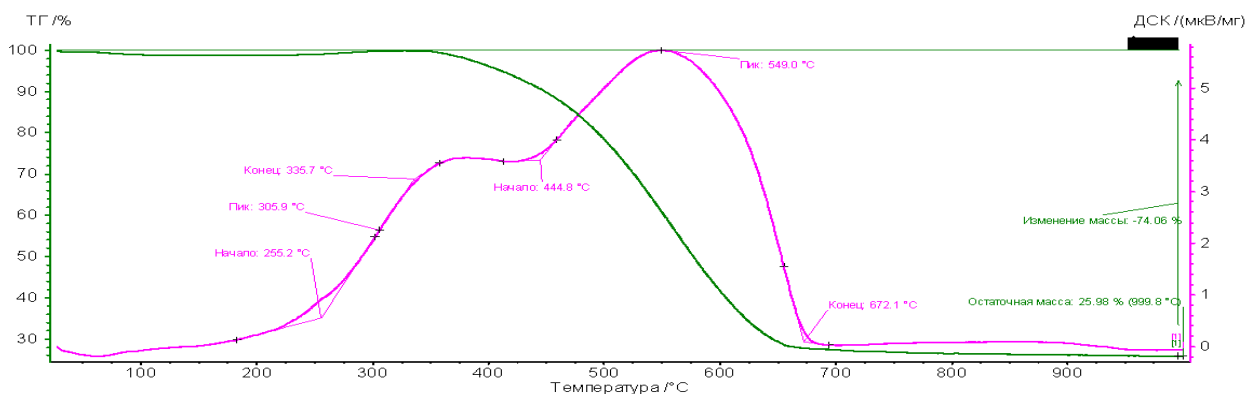


Рис.2. Кривая ДСК смеси 10% отходы и 90 % уголь «Г»



Таблица 4  
Результаты термического анализа

Смесь состава, % Отходы : Уголь «Г»	Экзотермический эффект, °С						ИМПП, %
	1-й			2-й			
	начало	макс.	конец	начало	макс.	конец	
90 : 10	256,4	326,7	337,7	436,6	544,5	644,5	44,43
50 : 50	276,3	305,6	341,7	436,2	550,3	663,9	59,95
30 : 70	278,2	322,0	343,8	439,6	549,9	662,6	67,58
10 : 90	255,2	305,9	337,7	444,8	549,0	672,1	74,05
0 : 100	254,0	292,7	338,5	441,1	549,9	677,6	78,85

Отличительная особенность термоокислительной деструкции органического вещества углей состоит в последовательно-параллельном протекании процессов низкотемпературного горения ароматического ядра топлива и отщепления периферийных соединений основных структурных единиц органической массы угля с образованием H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, частично CO. Первый низкотемпературный экзотермический эффект соответствует горению ароматических составляющих, второй - более насыщенных углеводородов органической массы угля.

Кривые ДСК для исследуемых образцов близкой массы имеют не слишком большие отличия по температурам начала, максимума и конца экзотермического эффекта как первого, так и второго пика. Однако при этом наблюдается различная величина ИМПП и зольного остатка.

Термогравиметрические кривые, отражающие потерю массы при нагреве углей в среде воздуха, представлены на рис 3-4.

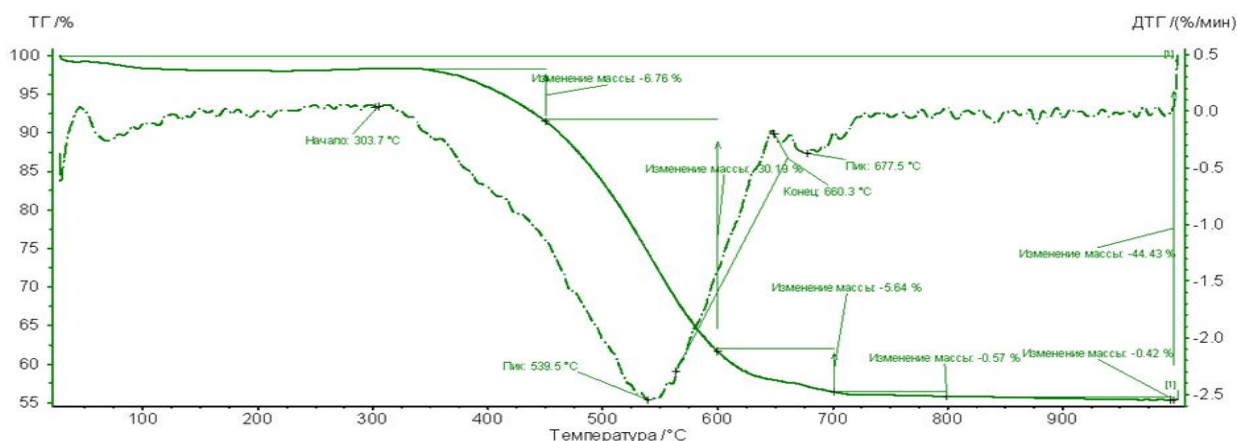


Рис. 3. Кривые ТГ и ДТГ непрерывного нагрева угольного материала 90% отходы и 10 % уголь «Г»

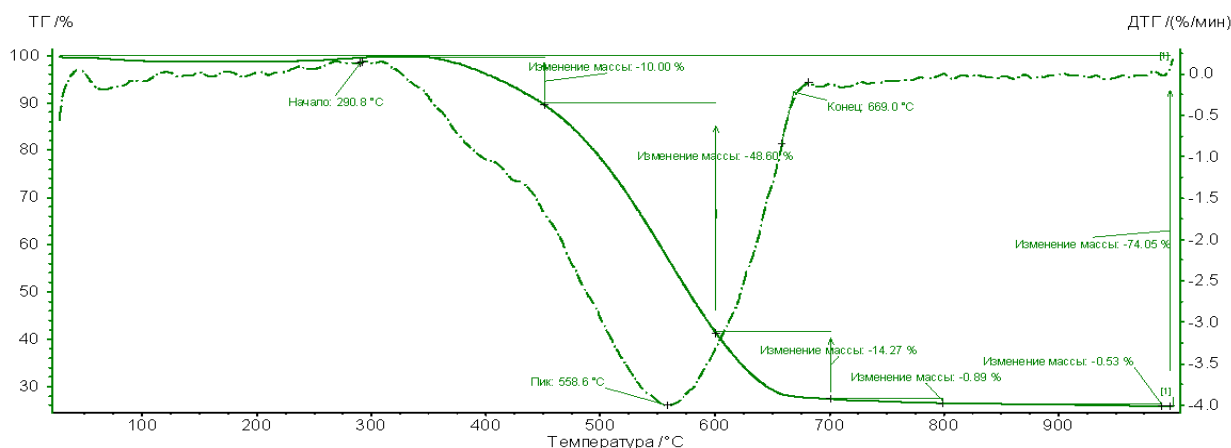


Рис. 4. Кривые ТГ и ДТГ непрерывного нагрева угольного материала 10% отходы и 90 % уголь «Г»

В табл.5 приведены потери массы смеси в определённых интервалах температур.

Как видно из табл. 5, наибольшие потери массы для всех исследуемых образцов наблюдаются в диапазоне температур 450-600 °С, что составляет порядка 65-67% от всей массы органической составляющей угля. Для этих образцов максимальная скорость выгорания, определенная по кривым ДТГ, соответствует температуре 540-563 С.

Сопоставление ТГ-кривых (рис. 5-6), полученных в окислительной среде, показало, что наблюдается

эффект относительного приращения массы в области температур от 200 до 300 °С (от 0,32 до 1,47 %).

В интервале температур 200-300°С окисление угольных материалов идёт с увеличением массы, свыше 300 °С – с убылью массы см. (рис. 5-6).

Таким образом, теплотехнический и термоаналитический анализы показали, что использование отходов в качестве топлива в топке НТКС в чистом виде нецелесообразно из-за высокой влажности и зольности, а оптимальным составом является смесь 10% отходы и 90 % уголь «Г».

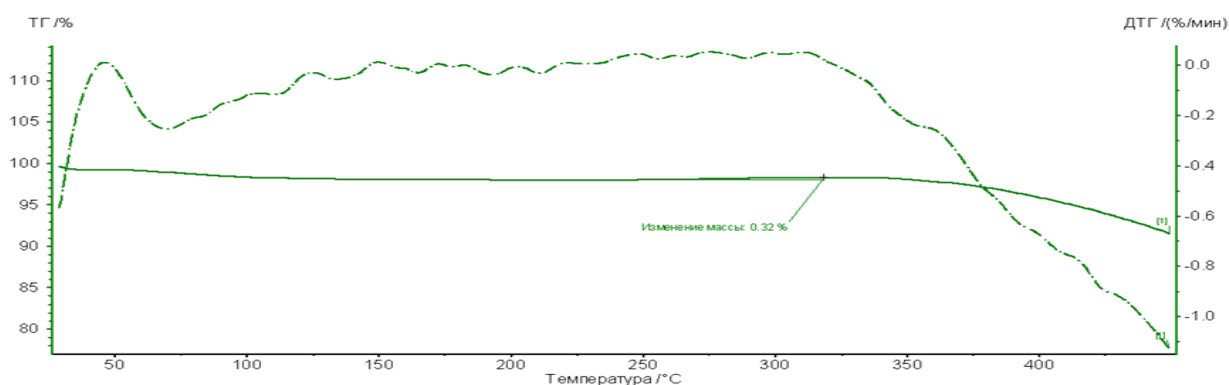


Рис. 5. Участок кривой ТГ и ДТГ угольного материала 90% отходы и 10 % уголь «Г»

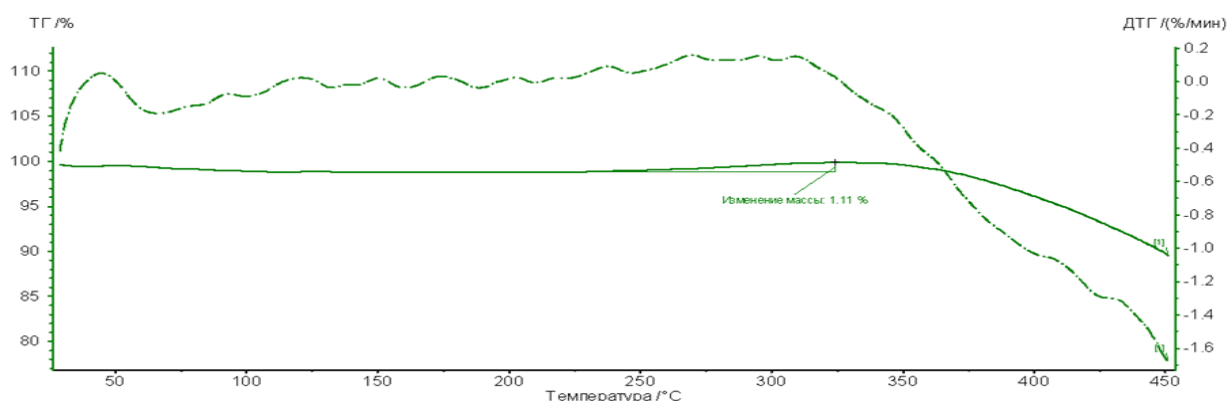


Рис. 6. Участок кривой ТГ и ДТГ угольного материала 10% отходы и 90 % уголь «Г»

Таблица 5  
Результаты термогравиметрического анализа смесей

Смесь состава, % Отходы : Уголь «Г»	Потеря массы %, в интервале температур, °С				
	30- 450	450-600	600 - 700	700-800	800-1000
90 : 10	9,68	50,91	18,57	0,86	0,36
50 : 50	6,76	30,19	5,64	0,57	0,42
30 : 70	8,12	39,18	10,24	1,20	0,61
10 : 90	9,14	45,07	11,83	1,06	0,65
0: 100	10,0	48,60	14,27	0,89	0,53

В табл. 6 представлены теплотехнические показатели предлагаемой смеси, рекомендуемой для использования в качестве нетрадиционного топлива в топках НТКС [11, - 13].

Использование данной смеси в топке НТКС позволит осуществить сушку угольного концентрата с производительностью 164 т/ч, при этом влажность

конечного продукта составит 8%, а расход смеси 1,526 т/ч.

Технологическая схема позволяет поддерживать заданную мощность установки за счет регулирования таких параметров, как температура воздуха, гранулометрический состав, зольность и влажность сырья.

Таким образом, вовлечение отходов углеобогащения в процесс сушки концентрата в ООО «ММК-Уголь» на установке НТКС позволит не только увеличить резерв топлива, но и снизить эксплуатационные затраты на содержание отстойников, а также сократить нерациональное отчуждение земельных ресурсов и при эффективной системе очистки дымовых выбросов обеспечить снижение загрязнений окружающей среды.

Таблица 6  
Теплотехнический расчет горения смеси 10% отходов и 90% уголь «Г»

Теплота сгорания низшая рабочая, кДж/кг	Расход тепла на испарение влаги, ГДж/т	Объём продуктов сгорания смеси, м <sup>3</sup> /кг	Температура продуктов сгорания, °С	Энтальпия продуктов сгорания, кДж/м <sup>3</sup>	Энтальпия воздуха на разбавление, кДж/м <sup>3</sup>	Объём сушильного агента, м <sup>3</sup> /кг	Расход сжигаемой смеси, т/ч
15573	48380	9,30	1960	3308	26	79,2	1,526

Список литературы

1. Шпирт М. Л. Безотходные технологии. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1986. 120 с.
2. Shpirt M. Ya., Rainbow A. K. M. Ecological problems caused by coal mining and processing with suggestions for remediation, Millpress Rotterdam Netherlands 2006, 162 p.
3. Raask E. Cenospheres in pulverized-fuel ash // Journal of the Institute of fuel. 1968, v.43, № 332, Septemb., pp. 339-344.
4. Leininger D., Erdmann W., Kohling R. and other. Symposium on the utilization of waste from coal mining and preparation. Tatabanya. Hungary. 1983, top. 5, pp. 1-36.
5. Шпирт М. Я., Артемьев В. Б., Силютин С. А. Использование твердых отходов добычи и переработки углей. М.: Горное дело, 2013. 432 с.
6. Baniah M. K., Kotoky P., Borah G. S. Gold in high sulphur Indian coals // Fuel. 1998, vol. 77, № 15, pp. 1867-68.
7. Вискин Ж. В. Сжигание угля в кипящем слое и утилизация его отходов. Донецк: Типография "Новый мир", 1997. 283 с.
8. Топор Н. Д., Огородова Л. П., Мельчакова Л. В. Термический анализ минералов и неорганических соединений. М.: Изд-во МГУ, 1987. 125 с.
9. Разработка нового реагентного режима флотации углей на основе результатов изучения термодинамических параметров адсорбции углеводородов на угольной поверхности / Петухов В. Н., Свечникова (Осина) Н. Ю., Юнаш А. А., Саблин А. В. // Кокс и химия. 2007. №9. С. 6-9.
10. Использование отходов флотации угля для энергетических целей в условиях ОАО «ЦОФ» «Беловская» / Петухов В. Н., Свечникова Н. Ю., Юдина С. В., Горохов А. В., Лавриненко А. А., Харченко В. Ф. // Кокс и химия. 2016. №5. С.38-41.
11. Svechnikova N. Yu., Petukhov V. N., Yudina S. V., Gorokhov A. V., Lavrinenko A. A., Kharchenko V. F. Utilization of coal-flotation wastes at ОАО TSOB Belovskaya// Coke and Chemistry.2016. vol. 59. № 5. p. 200-203.
12. Свечникова (Осина) Н.Ю. Исследование влияния химического состава аполиарных реагентов на флотирность углей // Теория и технология металлургического производства: сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им.Г.И.Носова, 2004. Вып. 4. С. 71-73.
13. Свечникова Н.Ю., Юдина С.В., Мамедалина Н.И. Анализ отходов флотационного обогащения углей // Теория и технология металлургического производства: сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им.Г.И.Носова, 2015. Вып.1 (16). С. 19-21.
14. Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю. Повышение эффективности процесса флотации угля с использованием нового реагента-собирающего // Материалы 64-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004-2005 гг. Магнитогорск, 2006. С. 111-114.

Сведения об авторах

Свечникова Наталья Юрьевна – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: natasha-svechnikova@yandex.ru

**Игуменшева Екатерина Андреевна** – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: igumenshevak@mail.ru

**Коновницына Надежда Сергеевна** – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: konov-nadya@mail.ru

**Кухаренко Олег Геннадьевич** - студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: oooleg\_kuharenkooo@mail.ru

**Куклина Ольга Валерьевна** - студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: konov-nadya@mail.ru

**Хасанзянова Алина Ильдаровна** - студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: ali\_na11@mail.ru

---

*INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH*

---

**USE OF WASTE OF FLOTATION OF COAL AS NONCONVENTIONAL FUEL**

**Svechnikova Natal'ya YUR'evna** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: natasha-svechnikova@yandex.ru

**Igumensheva Ekaterina Andreevna** – student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: igumenshevak@mail.ru

**Konovnitsyna Nadezhda Sergeevna** – student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: konov-nadya@mail.ru

**Kuharenko Oleg Gennadevich** - student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: oooleg\_kuharenkooo@mail.ru

**Kuklina Olga Valeryevna** - student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: lady.cuclina2013@yandex.ru

**Hasanzyanova Alina Ildarovna** - student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: ali\_na11@mail.ru

**Abstract.** The flotation waste OOO “ММК-Coal” were studied in order to use them in combustion to burn high-ash coal. On the basis of technical analysis and thermal calculations possibility of use of waste of flotation in a mixture of coal as raw materials in the furnaces of low-temperature layer (STAP). Use of waste as fuel in a fire chamber of NTKS is purely inexpedient because of high humidity and an ash-content. Therefore mixes of various structures have been made. Analyses have shown that the burned mix, optimum on lowest heat of combustion of working fuel and expense, structure mix is: 10% of waste and 90% of ordinary coal of brand "G". Use of this mix in a fire chamber of NTKS will allow to carry out drying of a coal concentrate with a productivity of 164 t/h, to lower operational charges of settlers, and also to reduce irrational alienation of land resources and at effective system of cleaning of smoke emissions to provide decrease in environmental pollution.

**Key words:** Coal, flotation waste, low-temperature furnace of the fluidized bed (STAP), heat of combustion.

---

Ссылка на статью:

Использование отходов флотации угля в качестве нетрадиционного топлива / Свечникова Н. Ю., Игуменшева Е. А., Коновницына Н. С., Кухаренко О.Г., Куклина О.В., Хасанзянова А.И. // Теория и технология металлургического производства. 2017. №2(21). С. 15-20.

Svechnikova N.Y., Igumensheva E.A., Konovnitsyna N.S., Kuharenko O.G., Kuklina O.V., Hasanzyanova A.I., Use of waste of flotation of coal as nonconventional fuel. // *Teoria i tehnologia metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2017, vol. 21, no. 2, pp. 15-20.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И САПР МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 681.516

Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Сухонослова Т.Г.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОМЫШЛЕННОГО СЖИГАНИЯ ГАЗА ПУТЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРОПОРЦИОНИРОВАНИЯ РАСХОДОВ ТОПЛИВА И ВОЗДУХА

**Аннотация.** В работе представлены результаты совершенствования широко используемой типовой системы управления энергоемким процессом сжигания топлива в рабочем пространстве промышленных печей. Существенный, теоретически обоснованный результат достигнут за счет использования в автоматизированной системе объемного пропорционирования расходов топлива и воздуха рациональных рабочих характеристик горелок для каждой зоны печи. Экспериментально полученные характеристики позволяют рассчитывать рациональные (близкие к оптимальным) значения расхода воздуха и коэффициента расхода воздуха в зависимости от расхода топлива для каждой зоны нагревательной печи. Использование представленных в статье рабочих характеристик в автоматической системе объемного пропорционирования расходов позволяет наиболее точно учитывать индивидуальные особенности конструкций и расположения горелок во всем диапазоне изменения расходов топлива для каждой зоны в условиях переменной производительности печей. Использование представленных в статье рабочих характеристик в автоматической системе объемного пропорционирования расходов позволяет наиболее точно учитывать индивидуальные особенности конструкций и расположения горелок во всем диапазоне изменения расходов топлива для каждой зоны в условиях переменной производительности печей. Это усовершенствование позволяет практически исключить субъективное вмешательство технологического персонала в режим управления процессом сжигания топлива даже в условиях существенно нестационарных режимов работы нагревательных технологических агрегатов и промышленных печей. Приведены результаты технологического обоснования и использования предлагаемого технического решения по совершенствованию существующего режима управления процессом сжигания топлива на промышленных печах широкополосного стана горячей прокатки ОАО «ММК». В условиях реального производства использование предлагаемого метода позволило снизить удельный расход условного топлива в зависимости от производительности стана на 2,4 - 3,7%.

**Ключевые слова:** объемное пропорционирование расходов, автоматическое управление, коэффициент расхода воздуха, рациональная рабочая характеристика горелки, энергосбережение.

### Введение

С ростом цен на топливо все более актуальной становится проблема минимизации непроизводительных затрат тепловой энергии на осуществление производственных процессов путем энергосберегающего высокоэффективного автоматизированного управления процессом сжигания топлива в рабочем пространстве промышленных технологических агрегатов и нагревательных печей.

Существующие способы управления сжиганием топлива дорогостоящи, сложны в реализации, часто недостаточно эффективны и требуют постоянного вмешательства человека-технолога.

### Теоретическое обоснование актуальности работы

Анализируя различные способы управления процессом сжигания топлива, выявлено, что основная, очевидная задача экономии топлива будет иметь вид

$$V_T(\tau) \rightarrow \min, \quad 0 \leq V_T(\tau) \leq V_T^{\max}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – текущее время технологического процесса, ч;  $V_T(\tau)$  – текущий расход топлива, м<sup>3</sup>/ч;  $V_T^{\max}$  – максимально возможный расход топлива, м<sup>3</sup>/ч.

Решение задачи (1) при  $V_T(\tau) = 0$  и  $0 \leq \tau \leq \infty$  имеет смысл в виде замены данного вида топлива другим источником тепловой энергии [1, 2]. Результат основного технологического процесса (ТП), использующего тепловую энергию сжигания топлива, можно выразить в виде

$$W(\tau) = F[V_T(\tau), V_B(\tau), S(\tau), \tau], \quad (2)$$

где  $W(\tau)$  – выходной параметр, результат основного ТП;  $V_B(\tau)$  – расход окислителя (атмосферного воздуха) на сжигание топлива, м<sup>3</sup>/ч;  $S(\tau)$  – совокупный фактор, отражающий действие внешних возмущающих воздействий на  $W(\tau)$ .

Для условий реального промышленного производства целью управления является результат основного ТП

$$W(\tau) \rightarrow W^{set}(\tau) \quad \text{при} \quad V_T^{\min} \leq V_T(\tau) \leq V_T^{\max}, \quad (3)$$

где  $W^{set}(\tau)$  – директивно заданное значение  $W(\tau)$  основного ТП, цель управления.

В случае (2) результат основного ТП зависит не только от расхода топлива, но и от расхода воздуха. Требуемая величина расхода воздуха  $V_B^{set}(\tau)$  будет определяться в соответствии с выражением

$$V_B^{set}(\tau) = \varphi[V_T(\tau), U(\tau)] \text{ при } V_B^{min} \leq V_B(\tau) \leq V_B^{max}, (4)$$

где  $U(\tau)$  – управляющее воздействие, уточняющее и корректирующее заданное значение  $V_B^{set}(\tau)$ , расход воздуха, варьируемый в пределах от минимального  $V_B^{min}$  до максимального значения  $V_B^{max}$ , в зависимости от реальных производственных условий.

Способ, реализующий управление сжиганием топлива в соответствии с (4), называется пропорционированием расходов ведущего  $V_T(\tau)$  и ведомого  $V_B(\tau)$  параметров.

Функция  $V_B^{set}(\tau)$  задается на стадии проектирования (или выбора) топливосжигающих устройств (горелок) и обычно определяется выражением

$$V_B^{set}(\tau) = \alpha_B(\tau)L_0V_T(\tau) \text{ при } \alpha_B^{min} \leq \alpha_B(\tau) \leq \alpha_B^{max}, (5)$$

где  $\alpha_B(\tau)$  – текущее значение коэффициента расхода воздуха;  $\alpha_B^{min}$  и  $\alpha_B^{max}$  – минимальное и максимальное значения коэффициента;  $L_0$  – коэффициент, численно равный количеству воздуха, необходимого для полного сгорания единицы топлива (как правило,  $1 \text{ м}^3$ ).

Коэффициент  $\alpha_B(\tau)$  является в (5) управляемым и корректируемым параметром, значение которого устанавливается технологом, управляющим ходом основного ТП.

Если управление основным ТП осуществляется в соответствии с (3), то весь комплекс задач по управлению процессом сжигания топлива можно представить в виде последовательности действий с учетом технологических ограничений [3, 4]:

$$W(\tau) = F[V_T(\tau), V_B(\tau), S(\tau), \tau] \rightarrow W^{set}(\tau) \text{ при } V_T^{min} \leq V_T(\tau) \leq V_T^{max},$$

$$V_B(\tau) = \varphi[V_T(\tau), U(\tau)] \rightarrow V_B^{set}(\tau) \text{ при } V_B^{min} \leq V_B(\tau) \leq V_B^{max}; (6)$$

$$V_T(\tau) \rightarrow \min \text{ при } U^{min} \leq U(\tau) \leq U^{max}.$$

Последовательное выполнение действий (6) приближенно дает необходимое обоснованное решение задачи минимизации затрат топлива на основной ТП в условиях использования обычного традиционного способа автоматического управления с применением типовых законов регулирования и в условиях нестационарной работы промышленных печей, когда  $U(\tau)$  ( $\alpha_B(\tau)$ ) выбирает технолог.

### Технологическое обоснование необходимости совершенствования автоматизированного энерго-сберегающего управления процессом сжигания топлива

Совершенствование типовой автоматической системы объемного пропорционирования расходов топлива и воздуха рассмотрено на конкретном примере управления процессом сжигания топлива в рабочем пространстве 10-зонной современной методической печи с шагающими балками, сводовым отоплением верхних зон и двухпроводными горелками в нижних зонах.

Печь работает в нестационарных условиях, когда часовая производительность стана изменяется от 100 до 1000 т/ч и в печи одновременно нагреваются партии непрерывнолитых заготовок различных марок стали, имеющих начальную температуру от 20 до 750 °С.

Проводились исследования процесса сжигания природного газа путем использования методов экспертных оценок и ранговой корреляции при отборе многочисленных проб продуктов сгорания с одновременным замером температуры рабочего пространства штатными зонными термометрами для каждой отапливаемой зоны печи. В ходе исследований было установлено, что в зависимости от конструктивных особенностей, типов горелок, расположения их по длине зоны и способа подвода к ним газа и воздуха существует рациональная рабочая характеристика, определяющая технологически обоснованное (близкое к оптимальному) значение коэффициента расхода воздуха  $\alpha_B(\tau)$  (или расхода воздуха) в зависимости от расхода топлива [5]. Так, изменение  $\alpha_B(\tau)$  в зависимости от расхода природного газа в верхние зоны печи с верхним сводовым отоплением представлены на рис. 1.

При рациональных рабочих характеристиках обеспечивается достаточно полное сгорание топлива в газозвоздушной смеси и достижение максимальной температуры рабочего пространства в зоне во всем диапазоне изменения расхода газа. Для подтверждения этого на рис. 2 приведены экспериментальные зависимости температуры рабочего пространства в верхних зонах методической печи №1 стана 2000 от величины коэффициента расхода воздуха при постоянном расходе природного газа в каждую зону [5].

Увеличение  $\alpha_B(\tau)$  при уменьшении расхода газа вызвано необходимостью увеличения кинетической энергии газозвоздушной смеси для интенсификации перемешивания газа и воздуха, поскольку выходные сечения горелок рассчитаны на максимальные расходы, а при малых расходах скорости потоков газа и воздуха снижаются [6].

Поддержание текущего рационального расхода воздуха в зависимости от текущего расхода топлива позволяет обеспечить максимальную температуру в рабочем пространстве каждой зоны по ходу нагрева. Это означает осуществление нагрева металла при меньших затратах топлива. В условиях нестационарного режима работы печи при автоматической стаби-

лизации температуры рабочего пространства в каждой отапливаемой зоне с учетом взаимного влияния зон друг на друга расходы газа по зонам непрерывно изменяются.

В качестве конкретного примера на рис. 3 приведены экспериментальные изменения во времени расходов природного газа в две смежные зоны для пяти-

зонной методической печи №5 стана 2500 ОАО «ММК» (до реконструкции) при стабилизации температуры поверхности нагреваемых заготовок в каждой зоне нагрева в условиях переменной производительности стана и нагреве заготовок с различным начальным тепловым состоянием.

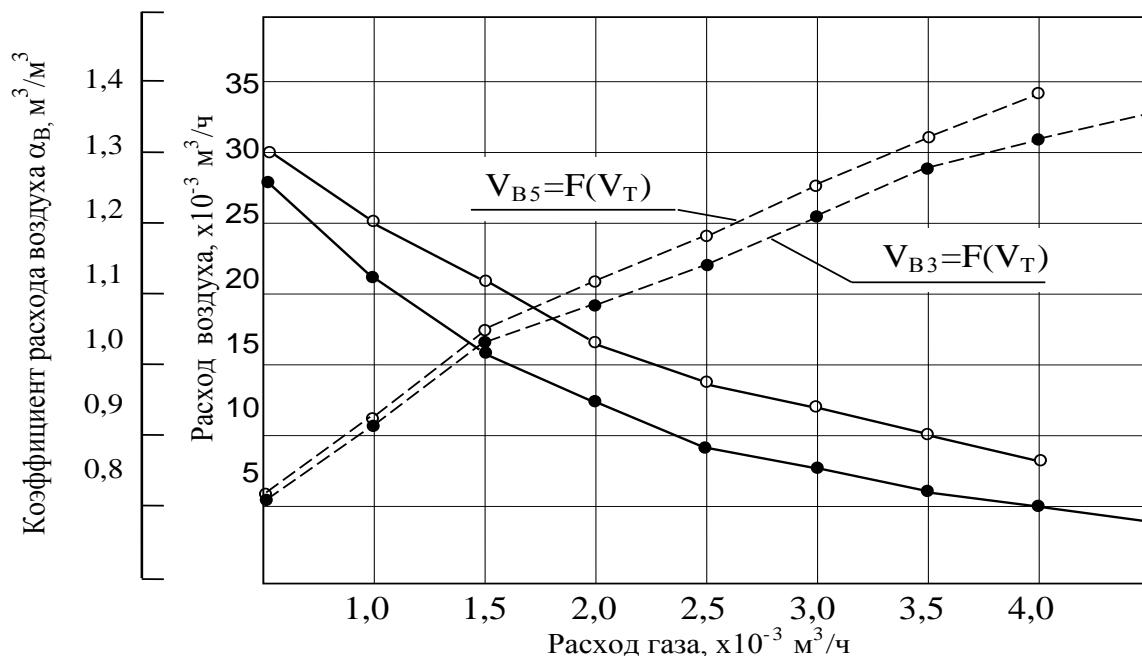


Рис. 1. Рациональные значения коэффициента расхода воздуха (сплошные линии) и расход воздуха (пунктирные линии) в зависимости от расхода газа, принятые для верхних зон методической печи №1 стана 2000 ОАО «ММК»: -●-●- зона №3; -○-○- зона №5

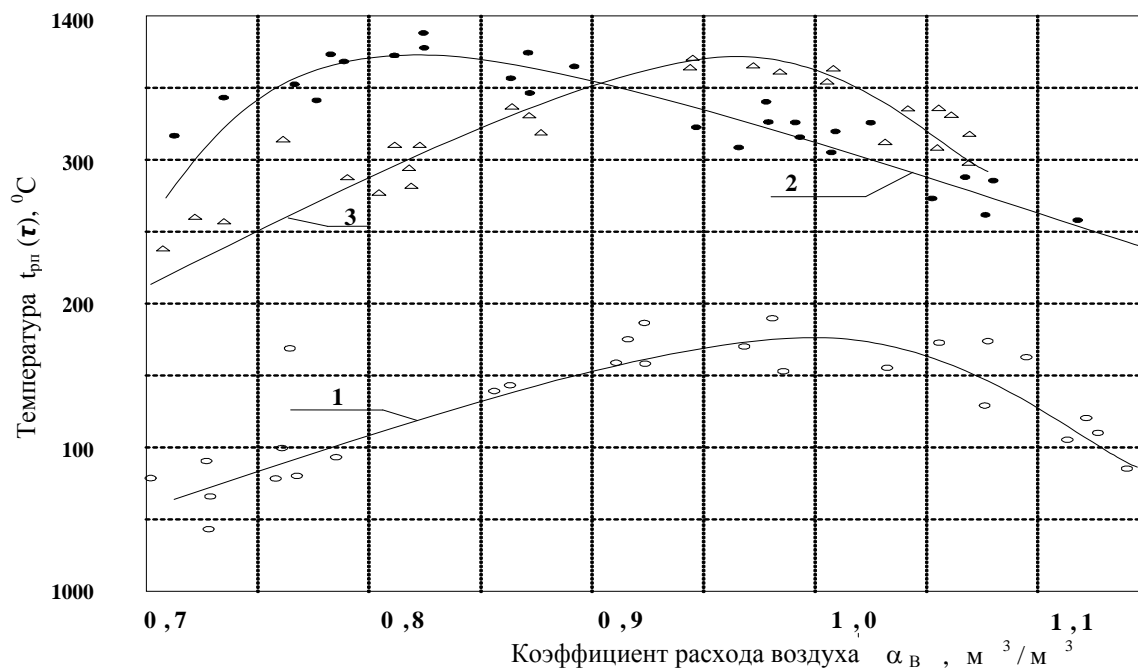


Рис. 2. Зависимость температуры в верхних сварочных зонах по показаниям зонной термопары от коэффициента расхода воздуха: -○-○- зона №3,  $V_T=1020 \text{ м}^3/\text{ч}$  (1); -●-●- зона №3,  $V_T=2600 \text{ м}^3/\text{ч}$  (2); -△-△- зона №5,  $V_T=1100 \text{ м}^3/\text{ч}$  (3)

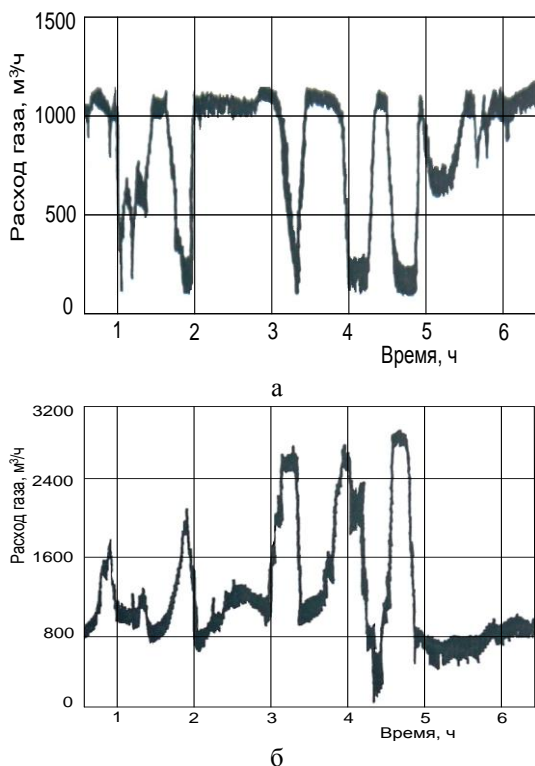


Рис.3. Диаграммы приборов, регистрирующих расходы природного газа в смежные зоны нагрева методической печи №5 стана 2500 ОАО «ММК»: а – сварочная зона №1; б – сварочная зона №2  
Технолог-оператор (нагревательщик) при использовании типовой системы объемного пропорционирования расходов просто физически не в состоянии устанавливать заданные значения рациональных расходов

дов воздуха по зонам печи при изменении расходов газа.

Поэтому в зонах устанавливается завышенное значение расхода воздуха, обеспечивающее удовлетворительное управление сжиганием топлива для диапазона усредненных расходов газа по ходу нагрева, хотя и при повышенных расходах воздуха.

Современным, достаточно дорогостоящим и сложным, способом управления тепловым режимом нагрева непрерывнолитых заготовок считается использование импульсного управления. Когда температура в рабочем пространстве нагревательных печей проходного типа в каждой зоне регулируется числом включенных горелок, работающих при максимальных расходах газа при относительно стабильных рациональных значениях расходов воздуха. Однако на большинстве методических печей это требует изменения их конструкции и системы отопления, что экономически затратно.

Для обеспечения энергосберегающего, технологически обоснованного, близкого к оптимальному управления процессом сжигания топлива предлагается универсальная автоматизированная система, не требующая при усовершенствовании типовой существующей системы объемного пропорционирования расходов топлива и воздуха значительных затрат.

**Принцип работы универсальной эффективной автоматизированной системы управления процессом сжигания топлива**

Структурная схема универсальной, пригодной для любого типа горелок, эффективной энергосберегающей автоматизированной системы управления процессом сжигания топлива в рабочем пространстве промышленных печей представлена на рис. 4.

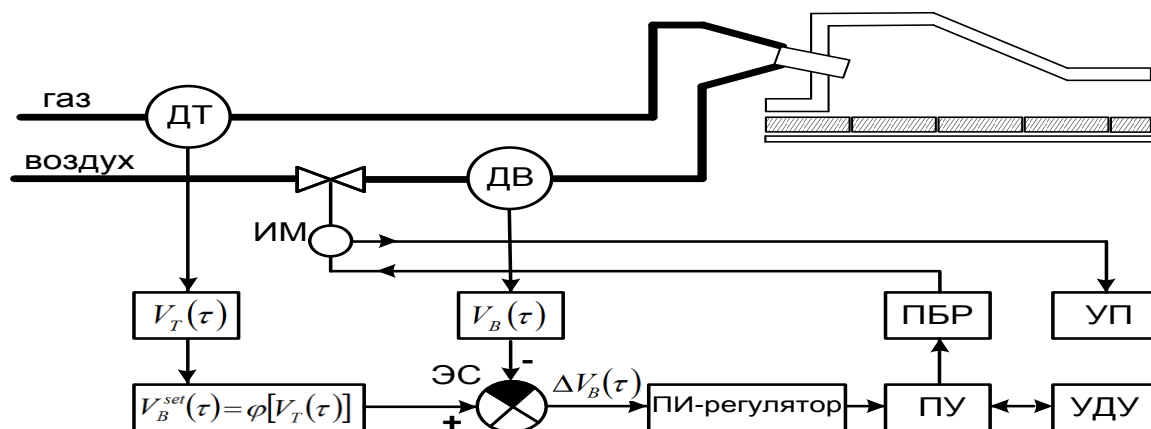


Рис. 4. Структурная схема энергосберегающей системы управления сжиганием топлива в рабочем пространстве промышленной печи

Система содержит датчик с нормирующим преобразователем расхода топлива (ДТ) и датчик с нормирующим преобразователем расхода воздуха (ДВ), сигналы с которых поступают на аналого-цифровые преобразователи, измеряющие и регистрирующие текущие расходы топлива  $V_T(\tau)$  и воздуха  $V_B(\tau)$ .

Функциональный преобразователь  $V_B^{set}(\tau) = \varphi[V_T(\tau)]$  обеспечивает формирование сигнала, пропорционального текущему заданному значению рационального расхода воздуха, необходимого для эффективного сжигания текущего расхода топлива в соответствии с рабочей характеристикой горелок в зоне, (см. рис. 1).



На элементе сравнения (ЭС) значение сигнала  $V_B^{set}(\tau)$  сравнивается с текущим расходом воздуха  $V_B(\tau)$ . На выходе элемента сравнения формируется сигнал в соответствии с условием  $\Delta V_B(\tau) = V_B^{set}(\tau) - V_B(\tau)$ . Сигнал рассогласования  $\Delta V_B(\tau)$  подается на вход автоматического регулятора, реализующего стандартный ПИ-закон управления, обеспечивающий изменение текущего расхода воздуха  $V_B(\tau)$  для достижения  $\Delta V_B(\tau) = 0$ .

Управляющий сигнал с выхода регулятора поступает на переключатель управления (ПУ), с помощью которого осуществляется выбор режима управления «Автоматический» или «Дистанционный». Дистанционное (ручное) управление расходом воздуха осуществляется технологом с использованием устройства дистанционного управления (УДУ). Управление исполнительным механизмом (ИМ), перемещающим регулирующий клапан расхода воздуха, осуществляется с использованием бесконтактного реверсивного пускателя (ПБР). Угол поворота выходного вала ИМ, механически связанного с регулирующим клапаном расхода воздуха, измеряется указателем положения (УП) независимо от режима управления.

#### Результаты использования предлагаемой системы в реальных производственных условиях

Использование разработанного принципа формирования рационального заданного значения расхода воздуха в зависимости от текущего расхода топлива обеспечивает условия для эффективного сжигания топлива, непроизводительно затрачиваемого ранее на нагрев воздуха, избыточно подаваемого в рабочее пространство. Это позволило существенно уменьшить удельный расход условного топлива по стану 2500 ОАО «ММК» (до реконструкции).

Зависимость величины удельного расхода условного топлива  $Q_1(P)$  [кг-ут/т] от производительности стана  $P$  (которая изменяется от  $10,5 \cdot 10^3$  до  $14,2 \cdot 10^3$  т/сут) при существующей системе управления процессом сжигания природного газа определяется статистическим уравнением

$$Q_1(P) = 18,36 + \frac{574900}{P}. \quad (7)$$

После включения рассматриваемой системы автоматического управления процессом сжигания топлива на всех печах стана аналогичная зависимость стала иметь вид  $Q_2(P)$  [кг-ут/т]

$$Q_2(P) = 20,21 + \frac{518200}{P}. \quad (8)$$

Анализ полученных в реальных производственных условиях экспериментальных зависимостей  $Q_1(P)$  и  $Q_2(P)$  показал, что использование рассмотренного совершенствования существующей системы управления сжиганием топлива позволяет уменьшить вели-

чину удельного расхода условного топлива на 2,2 - 3,8 кг-ут/т, или 3 - 4%.

Среднеквадратичное отклонение и дисперсия экспериментальных данных для зависимости  $Q_1(P)$  соответственно равны 4,83 и 23,3 кг-ут/т. Аналогичные показатели для  $Q_2(P)$  имеют значения 3,79 и 14,38 кг-ут/т. Уменьшение статистических показателей  $Q_2(P)$  свидетельствует о значительной упорядоченности процесса сжигания топлива при использовании предложенного метода автоматического управления и снижения влияния различных возмущающих факторов на режим сжигания топлива в пределах рабочего пространства печи.

Общая экономия условного топлива только на одном стане 2500 составила 21 926 т в год.

#### Заключение

Использование метода экспертных оценок при формировании рабочей характеристики горелок позволило практически полностью исключить субъективное вмешательство технологического персонала в режим управления энергоемким процессом сжигания топлива и получить существенный эффект.

Практическая реализация рассмотренной системы автоматического энергосберегающего управления процессом сжигания топлива не требует значительных экономических затрат и может быть использована на любых промышленных печах.

#### Список литературы.

1. Кривандин В.А., Егоров А.В. Тепловая работа и конструкция печей черной металлургии: учебник для вузов. М.: Металлургия, 1989. 462 с.
2. Гусовский В. Л., Ладьгичев М. Г., Усачев А. Б. Современные нагревательные и термические печи (конструкции и технические характеристики): справочник. М.: Теплотехник, 2007. 656 с.
3. Андреев С.М., Парсункин Б.Н. Оптимизация режимов управления нагревом заготовок в печах проходного типа: монография. Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2013. 376 с.
4. Климовицкий М.Д. Оптимизация работы нагревательных печей. М.: Металлургия, 1965. 164 с.
5. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Обухова Т.Г. Исследование оптимального энергосберегающего процесса сжигания топлива в рабочем пространстве металлургических печей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2005. №4. С. 28 – 36.
6. Левицкий И.А., Карвецкий А.А., Арутюнов В.А. Некоторые пути совершенствования технологии сжигания топлива в методических нагревательных печах // Известия вузов. Черная металлургия. 2012. № 1. С. 58–60.
7. Парсункин Б.Н., Петрова О.В., Полухина Е.И. Исследования влияния электрического режима ДСП на себестоимость выплавляемой стали // Теория и технология металлургического производства. 2014. №1(14). С.44-46.

**Сведения об авторах**

**Парсункин Борис Николаевич** – д-р техн. наук, проф. кафедры автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: [pkso035@gmail.com](mailto:pkso035@gmail.com).

**Андреев Сергей Михайлович** – канд. техн. наук, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: [andreev.asc@gmail.com](mailto:andreev.asc@gmail.com).

**Сухоносова Татьяна Геннадьевна** – ст. преп. кафедры автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: [tgobuhova@gmail.com](mailto:tgobuhova@gmail.com).

---

*INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH*

---

**IMPROVEMENT OF AUTOMATIC CONTROL OF THE GAS COMBUSTION INDUSTRIAL PROCESS BY THE ENERGY-SAVING VOLUMETRIC PROPORTIONING FLOW OF FUEL AND AIR**

**Parsunkin Boris Nikolaevich** – D. Sc. (Eng.), Professor subdepartment of Automated control systems, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [pkso035@gmail.com](mailto:pkso035@gmail.com).

**Andreev Sergey Mikhaylovich** – Ph. D. (Eng.), Head of the subdepartment of automated control systems, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [andreev.asc@gmail.com](mailto:andreev.asc@gmail.com).

**Sukhonosova Tatiana Gennadyevna** – Assistant Professor of automated control systems, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [tgobuhova@gmail.com](mailto:tgobuhova@gmail.com)

**Abstract.** The present results to improving the widely used standard control system for the energy-intensive fuel combustion process of in the working space of industrial furnaces. An important, theoretically grounded result is achieved by using in the automated system a volumetric proportion of the fuel and air consumption of the rational operational burners characteristics for each zone of the furnace. The experimentally obtained operational characteristics make it possible to calculate rational (close to optimal) values of air-flow rate and air-flow rate coefficient depending on the fuel consumption for each zone of the heating furnace. The automatic system of volumetric proportional flow with the performance rational characteristics makes it possible to take into account the individual features of the configuration and arrangement of the burners throughout the range of fuel consumption for each zone in conditions of variable furnace capacity. This improvement allows to practically exclude the subjective interference of the technological personnel in the fuel combustion control mode even in conditions of essentially unsteady regime of process heating units and industrial furnaces. The results of the technological justification and use of the proposed technical solution for improving the existing process of fuel combustion control mode in the industrial furnaces of the wide-strip rolling mill of ОАО «ММК». In real production conditions, the use of the proposed method has made it possible to reduce the specific reference fuel consumption, depending on the mill production output, by 2.4-3.7%.

**Keywords:** Volumetric proportioning flow, automatic control, air-flow rate coefficient, rational operational burner characteristic, energy saving.

---

Ссылка на статью:

Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Сухоносова Т.Г. Совершенствование автоматического управления процессом промышленного сжигания газа путем энергосберегающего пропорционирования расходов топлива и воздуха // Теория и технология металлургического производства. 2017. №2(21). С. 21-26.

Parsunkin B.N., Andreev S.M., Sukhonosova T.G. Improvement of automatic control of the gas combustion industrial process by the energy-saving volumetric proportioning flow of fuel and air // *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [ The theory and process engineering of metallurgical production]. 2017, vol. 21, no. 2, pp. 21-26.

УДК 622.73:621.926.5:004.9

Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Хабибуллин Ш.М.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗНОСА МЕЛЬНИЦЫ ПОЛУСАМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПУТЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Аннотация.* В работе рассмотрено применение программного пакета моделирования для воссоздания и визуализации траектории движения рудно-шаровой загрузки и износа рабочих поверхностей футеровки мельницы полусамоизмелчения на основе реальных данных. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с фактическим износом футеровки в мельнице МПСИ-70х23.

**Ключевые слова:** моделирование, мельница, траектория рудно-шарового потока, футеровка, износ.

### Введение

В связи с увеличением переработки полезных ископаемых в мире количество и запасы богатых месторождений сокращаются. Постоянно увеличивающиеся потребности в металлах предприятия стремятся обеспечить повышением показателей производительности и объемов переработки руд. На современных обогатительных фабриках все большее применение находят мельницы полу- и самоизмельчения [1], позволяющие за счет увеличения объемов эффективно перерабатывать руду с низким содержанием металлов. Важным фактором в работе измельчительного оборудования является обеспечение его постоянной, круглосуточной работоспособности. Для мельниц основное время простоев занимает выполнение работ по замене футеровки.

Одним из актуальных и перспективных направлений по снижению затрат на обогатительных фабриках является увеличение эксплуатационных свойств футеровки, позволяющее повысить технико-экономические показатели и снизить себестоимость готовой продукции. Для этого проводят опытные испытания различных видов мельничной футеровки, изменяя ее материал, профиль, способ крепления и т.д., во многих случаях, не получая ожидаемого результата и затратив финансовые средства [2-4].

Существующие программы компьютерного моделирования позволяют выполнить серии вычислительных экспериментов, в результате которых можно получить наглядную информацию о процессах, происходящих в барабанных мельницах, а также в определенной степени прогнозировать качество помола, производительность, траекторию движения и степень воздействия рудно-шарового потока на мельничную футеровку [5]. Основываясь на этом, можно определить зоны наиболее интенсивного износа брони мельниц и спроектировать их оптимальный профиль, не проводя промышленных испытаний, т.е. без значи-

тельных финансовых затрат.

Использование специализированных программ моделирования получило широкое применение в горнорудной промышленности вообще [6] и процессах измельчения в частности. Качество массива информации, полученного с помощью программных пакетов, при условии ввода корректных исходных данных, подтверждается лабораторными экспериментами и фактическими наблюдениями за износом футеровок в мельницах действующих обогатительных фабрик.

Цель работы: путем математического моделирования определить траектории движения рудно-шаровой загрузки и износа рабочих поверхностей футеровки мельницы и использовать эти данные для проектирования новой футеровки с меньшим износом (с лучшими эксплуатационными свойствами).

### Основная часть

Моделирование траектории движения рудного потока, построение трехмерной модели барабана выполняли по реальным чертежам оборудования и футеровки мельницы. Далее на модель накладывали параметры, характеризующие свойства фактической футеровки и компонентов рудно-шарового потока. Наложение большего количества параметров (свойств), оказывающих влияние на процесс измельчения, позволило в результате максимально приблизить моделируемый процесс к реальному.

Наиболее важными вводными данными для моделирования являются параметры: материал, геометрия и фактический износ футеровки; гранулометрический состав и физические свойства руды; размеры, свойства и объем шаровой загрузки; характеристики рабочего режима мельницы; коэффициент заполнения мельницы и т.д.

На рис. 1 представлена трехмерная модель мельницы мокрого полусамоизмелчения МПСИ-70х23 Хайбуллинской обогатительной фабрики с металлической футеровкой из стали 110Г13Л.

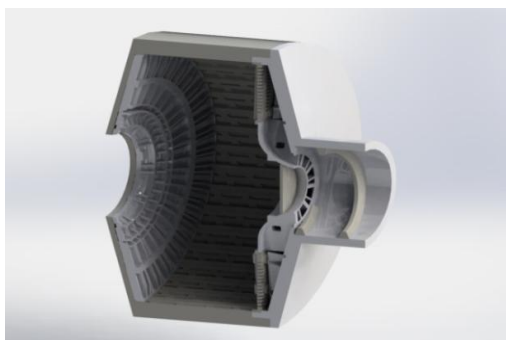


Рис. 1. Трехмерная модель мельницы МПСИ-70x23

Данные трехмерной модели мельницы с рабочими параметрами эксплуатации были введены в программный пакет ROCKY DEM Particle Simulator, с помощью которого определена траектория движения рудно-шаровой загрузки в области пяты, характеризующая эффективность измельчения падающих частиц. Также определены скорости движения наружного, среднего и внутреннего слоев движущегося потока рудношаровой загрузки. Проведя ситовой анализ за-

грузки, задав продолжительность моделирования с максимальной приближенностью к реальному процессу измельчения и учтя гранулированный состав имеющихся руд (шесть классов крупности, табл. 1), провели моделирования процессов износа футеровки мельницы.

Для уточнения расчетов и наглядности барабан мельницы был разделен двумя сечениями (рис. 2). В них рассмотрены влияние торцевых и барабанных футеровок на траекторию рудно-шарового потока и взаимодействие частиц потока между собой в этих сечениях.

Кроме вышеназванных параметров, были введены данные о фактическом сроке эксплуатации броней, установленных на исследуемой мельнице.

В результате обработки набранного массива данных, по заранее выбранным сечениям барабана мельницы (1 и 2), получили расчетные траектории движения материала и мелющих тел в начальном и конечном моментах эксплуатации. Также получены данные по изменению состояния футеровки в эти же моменты моделирования и эксплуатации (рис. 3, 4).

Таблица 1  
Характеристика и распределение рудно-шаровой загрузки мельницы МПСИ-70x23 по классам крупности

Материал	Диаметр, мм	Форма	Масса, кг	Плотность
Руда	300		1 190	5000
Руда	200		1 864	5000
Руда	150		2 737	5000
Руда	100		3 570	5000
Руда	71		15 940	5000
Руда	32		34 099	5000
Шары	100		16 330	7600
Шары	90		10 295	7600
Шары	70		7 100	7600
Шары	50		1775	7600

Износ броней торцевой загрузочной стенки происходит неравномерно по всей поверхности трех рядов футеровки. На рис. 3, 4 видно, что в сечении 1 к концу смоделированного эксплуатационного процесса, с основным износом по границе броней внешней и среднего рядов, траектория внешнего

потока рудно-шаровой загрузки уменьшается несущественно. Это объясняется тем, что поток поднимается вместе с барабаном, без скольжения, и абразивно не истирает зону футеровок в месте стыка барабана и торцевой крышки. Поэтому нижняя часть броней внешнего ряда торцевой крышки почти не

изношена.

Наибольшую степень износа наблюдают на участках брони наружного и среднего рядов, в области границы между ними (см. рис. 3, 4). В этой центральной зоне потока происходит скатывание шаров и материала, абразивно истирая футеровку.

Зона максимального износа броней, полученная путем моделирования, совпадает с положением этой зоны на бронях торцевой стенки после эксплуатации. На рис. 5, 6 показаны фотографии состояния футеровки загрузочной стенки мельницы в начальном состоянии и по окончании эксплуатации.

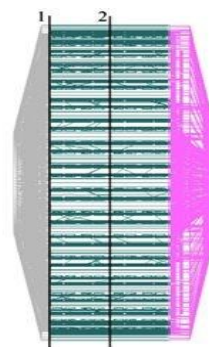


Рис. 2. Схема сечений мельницы МПСИ-70x23

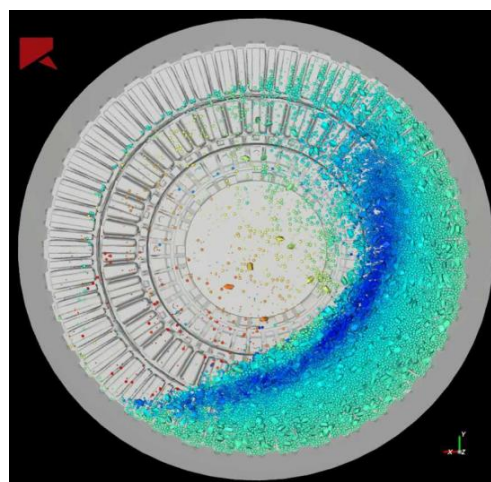
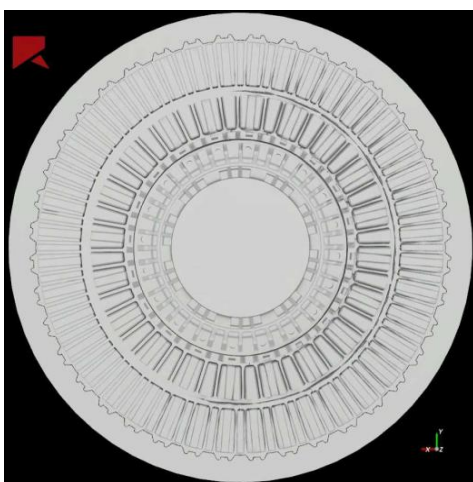


Рис. 3. Траектория рудно-шарового потока и состояний брони торцевой загрузочной стенки по сечению 1 в начальный момент моделирования

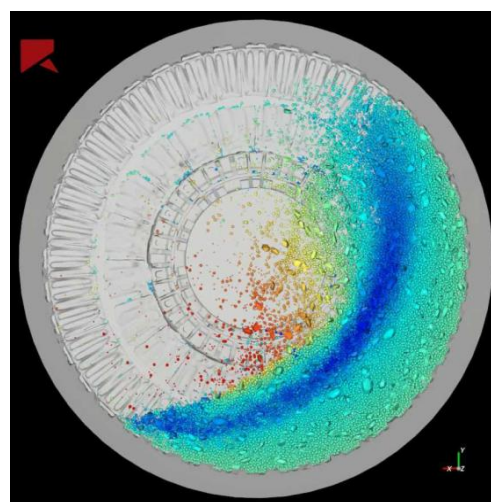
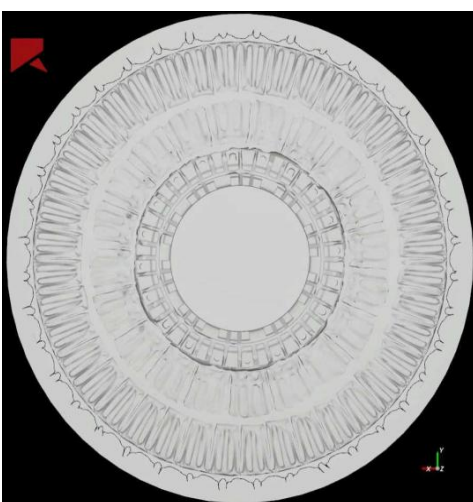


Рис. 4. Траектория рудно-шарового потока и состояние брони торцевой загрузочной стенки по сечению 1 в конечный момент моделирования

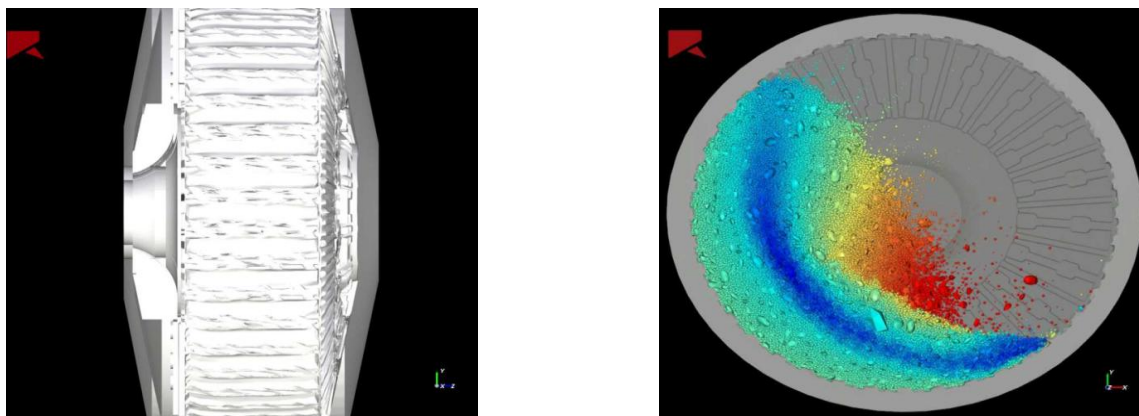


Рис. 8. Движение рудно-шарового потока и вид барабанной футеровки в конечный момент эксплуатационного периода

На представленных рисунках видно, что износ рабочей поверхности барабанной футеровки происходит неравномерно по длине барабана. Центральная часть футеровки барабана более изношена, чем по краям у торцевых стенок, так как рудно-шаровая загрузка, поднимаемая лифтерами барабанной футеровки, в области торцевых крышек дополнительно удерживается от скатывания лифтерами торцевой футеровки. Поток руды, расположенный в центральной части мельницы, вследствие меньшего сцепления раньше отрывается от барабана и по параболе движется вниз [6]. Части потока, расположенные у торцевых стенок и освобожденные центральной частью, отрываются и двигаются по параболе, смещаясь от стенок к середине барабана. Таким образом, центральная часть барабанной футеровки подвергается наибольшему воздействию рудно-шарового потока, что подтверждается большим износом.

Сопоставляя вид рабочей поверхности барабанной футеровки в конечный момент моделирования (см. рис. 8) и фотографию фактической рабочей поверхности барабанной футеровки мельницы после эксплуатации (рис. 9), видна одинаковость расположения зоны максимального износа.



Рис. 9. Вид рабочей поверхности барабанной футеровки после эксплуатации

### Заключение

Используя программный пакет ROCKY DEM Particle Simulator и реальные параметры действующей мельницы полусамозмельчения типа МПСИ-70х23, смоделировали динамику рудно-шаровой загрузки и процессов износа ее футеровок. Сравнение данных, полученных моделированием, с фактическим состоянием футеровки после эксплуатации подтверждает правильность созданной модели и виртуально воссозданного процесса измельчения.

Полученное расположение зон максимального износа броней торцевой крышки и барабан при сопоставлении совпало с расположением этих зон на реально действующей мельнице. Принятые меры по изменению конструкции футеровок позволили снизить эксплуатационные затраты на ремонт и остановки мельницы действующей обогатительной фабрики.

### Список литературы

1. Вайсберг Л.А., Баранов В.Ф., Бортников А.В. Основные тенденции развития рудодготовки на обогатительных фабриках, перерабатывающих руды черных и цветных металлов // Современные проблемы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (ПЛАК-СИНСКИЕ ЧТЕНИЯ 2005) сборник трудов конференции, М., 2005. 423 с.
2. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Хабибуллин Ш.М. Исследование процесса эксплуатации литых броней из стали марки 110Г13Л в мельнице МПСИ-70х23 // Литейные процессы. 2013. №12. С. 8-11.
3. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Хабибуллин Ш.М. Технологический процесс производства броней из стали 110Г13Л в условиях ООО «Ремонтно-механический завод» // Теория и технология металлургического производства. изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И.Носова, 2014. № 1 (14). С. 51-52.
4. Производство стальных отливок / Л.Я. Козлов, В.М. Колокольцев, К.Н. Вдовин и др. М.: МИСиС, 2005. – 351 с.
5. Venugopal R., Rajamani R.K. 3D simulation of charge motion in tumbling mills by the discrete element method // Powder Technology, 115(2), 157-166. doi: 10.1016/S0032-5910(00)00333-8.
6. Применение метода дискретных элементов для моделирования процессов в горно-металлургической промышленности / А.Ю. Феоктистов, А.А. Каменецкий, Л.И. Блехман и др. // Записки Горного института. 2011. Т.192. С. 145–149.

**Сведения об авторах**

**Вдовин Константин Николаевич** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой техноло-гии металлургии и литейных процессов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государстве-нный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E:mail:vdovin@magtu.ru.

**Феоктистов Николай Александрович** – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры технологии металлургии и литей-ных процессов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E:mail:fna87@mail.ru.

**Хабибуллин Шамиль Маратович** – аспирант кафедры технологии металлургии и литейных процессов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E:mail:shamill72@mail.ru

---

*INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH*

---

**RESEARCH OF DYNAMICS OF WEAR OF A MILL OF SEMI-SELF-CRUSHING BY MATHEMATICAL MODELING**

**Vdovin Konstantin Nikolaevich** – D. Sc. (Eng.), Professor, Head the Department of technology of metallurgy and casting processes, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E:mail:vdovin@magtu.ru.

**Feoktistov, Nikolai Aleksandrovich** – Ph.D. (Eng.) Assisten Professor. Department of technology of metallurgy and casting processes, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E:mail:fna87@mail.ru.

**Khabibullin Shamil Maranjvich** – Postgraduate Student of the Department of technology of metallurgy and casting processes, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E:mail:shamill72@mail.ru

**Abstract.** In work application of a software package of modeling for a reconstruction and visualization of a trajec-tory of the movement of ore and spherical loading and wear of working surfaces of lining of a mill of semi-self-crushing on the basis of real data is considered. The comparative analysis of the received results with the actual wear of lining in MPSI-70h23 mill is carried out.

**Keywords:** Modeling, mill, trajectory of an ore and spherical stream, lining, wear.

---

Ссылка на статью:

Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Хабибуллин Ш.М. Исследование динамики износа мельницы

Полусамозмельчения путем математического моделирования // Теория и технология металлургического производства. 2017. №2(21). С. 27-31.

Vdovin K.N., Feoktistov N.A., Khabibullin S.M. Research of dynamics of wear of a mill of semi-self-crushing by mathematical modeling // Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva. [ The theory and process engineering of metallurgical production]. 2017, vol. 21, no. 2, pp. 27-31.

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.771.07

Куряев Д.В., Авдиенко А.В., Иванов Д.М., Бойко А.Б.

## ПРОИЗВОДСТВО ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ В УСЛОВИЯХ ЗАО «МЗПВ»

***Аннотация.** В работе рассмотрены основные направления развития ЗАО «Магнитогорский завод прокатных валков». Описаны основные изменения при модернизации предприятия. Отмечено, что ЗАО «МЗПВ» является единственным предприятием в России, освоившим изготовление прокатных валков и бондажей из материала типа быстрорез и полубыстрорез. Показано, что эксплуатационные свойства характеристики прокатных валков соответствуют уровню ведущих европейских производителей. Отображены основные потребители продукции ЗАО «МЗПВ».*

***Ключевые слова:** прокатные валки, модернизация предприятия, эксплуатационные характеристики.*

ЗАО «МЗПВ» является крупнейшим в России производителем прокатных валков. Номенклатура производства представлена чугунами и стальными валками для станов горячей прокатки, роликов для ролгангов, бондажей для металлургических и мукомольных предприятий [1].

Постоянное совершенствование технологии производства и модернизация оборудования, работа с кадровым составом [2, 3] позволяет предприятию увеличивать объемы производства и расширять рынок сбыта продукции.

В соответствии с технологическим циклом основные производственные мощности завода разделены на литейный и вальцетокарный участки. Основное оборудование литейного участка составляет листовая и сортовая машины для центробежного литья, 4 индукционные печи, 9 термических печей, установка ХТС (холоднотвердеющие смеси). Оборудование вальцетокарного участка представлено современными станками с числовым программным управлением. Использование твердосплавного инструмента позволяет обеспечивающих высокую точность размеров и соответствие допусков требованиям чертежа заказчика. Помимо производственного оборудования на заводе особое внимание уделяется контролю качественных характеристик продукции. Контроль качества осуществляется количественным, металлографическим, спектральным, ультразвуковым методами на современном оборудовании, обеспечивающим высокую точность результатов исследований [4].

Комплексная инвестиционная программа, реализуемая ЗАО «МЗПВ», до 2020 года, позволила приобрести и установить в 2015-2016 гг. Среднечастотные тигельные индукционные печи емкостью 20, 10, 6, 4 т. Запуск данного оборудования позволил значительно снизить расход электроэнергии шихтовых материалов и повысить качество выпускаемой продукции. Использование установки ХТС, введенной в эксплуатацию в 2014 году, повысило качество поверхности отливок, соответственно увеличив производительность

труда и снизив расходный коэффициент. При этом улучшились экологические показатели при работе печей и установки ХТС, что благоприятно сказывается на условиях труда в литейной участке.

В результате кооперации со специалистами словенской фирмы «Valji Group d.o.o.», являющейся одним из акционеров ЗАО «МЗПВ», на предприятии освоили производство двухслойных и трехслойных центробежнолитых прокатных валков из высокохромистого (HiCr) и индефинитного (ICDP) чугуна [5, 6, 7]. Однако наблюдаемая тенденция к увеличению производительности прокатных станков и доли металла из труднодеформируемых легированных сталей приводит к увеличению энергосиловых параметров прокатки. Возникшая в связи с этим потребность в значительном повышении эксплуатационных характеристик прокатных валков, в том числе стойкости к абразивному износу и устойчивости к термическому воздействию, привела к необходимости разработки технологии производства качественно новых типов валков. На сегодняшний день помимо традиционных видов продукции ЗАО «МЗПВ» является единственным предприятием в России, освоившим изготовление прокатных валков и бондажей из материалов типа быстрорез (HSS), полубыстрорез (Semi HSS), высокохромистая сталь и азвтектоидная сталь с повышенным легированием и улучшенными эксплуатационными характеристиками. Эксплуатационные характеристики прокатных валков соответствуют уровню ведущих европейских производителей и составляют 3000 – 5000 т/мм для исполнения ICDP, 4000 – 6000 т/мм для исполнения HiCr, 9000 – 14000 т/мм для исполнения HSS [8]. Продукция ЗАО «МЗПВ» эксплуатируется на ведущих металлургических предприятиях, в том числе ОАО «ММК», ПАО «Северсталь», ПАО «НЛМК», ПАО «Мечел», ООО «ЕвразХолдинг», АО «ОМК» [9].

Политика ЗАО «МЗПВ» в области качества прежде всего ориентирована на потребителя. Мониторинг эксплуатации и анализ стойкости продукции позволяет оперативно вносить изменения в технологию производства в зависимости от особенностей работы



оборудования и учитывать пожелания заказчика. В связи с этим специалистами технологической лаборатории подбирается материал рабочего слоя и сердцевины валька с соответствующим легирующим комплексом, обеспечивающим высокие эксплуатационные характеристики в условиях конкретного предприятия.

Постоянное совершенствование технологии производства и освоение новых видов продукции позволяет ЗАО «МЗПВ» оставаться лидером отрасли и удовлетворять требования заказчиков.

#### Список литературы

1. Цыбров С.В. Производство прокатных вальков на ЗАО «МЗПВ» // Сб. трудов VIII Всероссийского конгресса прокатчиков, 11-15 октября 2010 г. М., 2010. Т. 2.
2. Колокольцев В.М. Новые тренды в развитии технического образования // Аккредитация в образовании. 2011. №(7) 51. С. 52-54.
3. Роль вузов в формировании инновационной экономики (на примере Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова) / Колокольцев В.М., Платов С.И., Разинкина Е.М., Лукьянов С.И., Моллер А.Б. // Черные металлы. 2011. №56. С. 5-9.
4. Цыбров С.В., Авдиенко А.В., Вдовин К.Н. Производство прокатных вальков в ЗАО «МЗПВ» // Сталь. 2012. № 2. С. 76-79.
5. Цыбров С.В. Разработка технологии изготовления крупнотоннажных центробежнолитых двухслойных вальков для прокатных станов // Литейное производство. 2006. № 8. С. 7-8.
6. Формирование структуры и свойств ванадиевых чугунов при их затвердевании в различных формах / Колокольцев В.М., Петроченко Е.В., Емелюшин А.Н., Потапов М.Г. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2005. №4. С. 41-43.
7. Колокольцев В.М., Науменко А.В., Куц В.А. Влияние легирующих элементов на свойства чугунов для горячей прокатки // Теория и технология металлургического производства. 2011. №2. С. 210.
8. Феоктистов Н.А., Цыбров С.В. Влияние химического состава чугуна на износостойкость и твердость чугуна // Литейные процессы. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Вып. 8. С. 19-23.
9. Цыбров С.В., Науменко В.Д., Авдиенко А.В. Опыт производства центробежных листо- и сортопрокатных износостойких чугунов биметаллических вальков горячей прокатки Магнитогорского завода прокатных вальков // Сб. трудов VII Всероссийского конгресса прокатчиков. М., 2007. С. 60-65.

#### Сведения об авторах

**Куряев Дмитрий Владимирович** – директор ЗАО «МЗПВ», Магнитогорск, Россия.

**Авдиенко Андрей Владимирович** – начальник производства ЗАО «МЗПВ», Магнитогорск, Россия.

**Иванов Денис Михайлович** – начальник технологической лаборатории ЗАО «МЗПВ», Магнитогорск, Россия.

**Бойко Артем Борисович** – ведущий инженер технологической лаборатории ЗАО «МЗПВ», Магнитогорск, Россия.

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

#### PRODUCTION OF MILLING ROLLS IN THE CONDITIONS OF CJSC "MZPV"

**Kuryaev Dmitry Vladimirovich** - Director of ZAO MZPV, Russia, Magnitogorsk.

**Andrey Vladimirovich Avdienko** - Production Manager, ZAO MZPV, Russia, Magnitogorsk.

**Ivanov Denis Mikhailovich** - Head of the Technological Laboratory of ZAO "MZPV", Russia, Magnitogorsk.

**Boyko Artem Borisovich** - leading engineer of the technological laboratory of ZAO "MZPV", Russia, Magnitogorsk.

**Abstract.** The main directions of the development of ZAO Magnitogorsk rolling mill plant are considered in the paper. The main changes in the modernization of the enterprise are described. It is noted that ZAO MZPV is the only company in Russia that has mastered the manufacture of milling rolls and bondage made of a quick-cut and half-fast-cutting. It is shown that the performance properties of the rolls characteristics correspond to the level of the leading European manufacturers. The main consumers of ZAO MZPV products are displayed.

**Keywords:** milling rolls, enterprise modernization, performance characteristics.

Ссылка на статью:

Производство прокатных вальков в условиях ЗАО «МЗПВ» / Куряев Д.В., Авдиенко А.В., Иванов Д.М., Бойко А.Б. // Теория и технология металлургического производства. 2017. №2(21). С. 32-34.

Production of milling rolls in the conditions of cjsc "MZPV" / Kuryaev D. V., Avdienko A.V., Ivanov D. M., Boyko A. B. // Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2017, vol. 21, no. 2, pp. 32-34.



## ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

### *Уважаемые коллеги!*

Приглашаем Вас принять участие в издании научного журнала «*Теория и технология металлургического производства*» («*Teoriâ i tehnologiâ metallurgiĉeskogo proizvodstva*») (Аббревиатура: **Teor. tehnol. metall. proizv.**) Периодичность издания – дважды в год.

**Журнал зарегистрирован в Научной электронной библиотеке, включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). ISSN 2311-5378.** Не забывайте в библиографических ссылках статей указывать свои труды и труды Ваших коллег для повышения индекса научного цитирования и изданий в целом.

*Журнал включает в себя следующие разделы:*

1. Обогащение и подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу.
2. Металлургия чугуна.
3. Металлургия стали.
4. Электрометаллургия и производство ферросплавов.
5. Литейное производство.
6. Обработка металлов давлением.
7. Металлургическая теплотехника.
8. Металловедение и термическая обработка металлов.
9. Экология и охрана окружающей среды.
10. Ресурсо- и энергосберегающие технологии в черной металлургии.

Для публикации статьи в журнале необходимо **до 1 июня года** представить **следующие материалы:**

- распечатанный чистовой оригинал статьи (4-8 полных страниц текста формата А4) (в дирекцию ИММиМ);
- электронную версию статьи на CD-диске или выслать электронной почтой на E-mail: [TTaPEoMP@mail.ru](mailto:TTaPEoMP@mail.ru) ; [ttmp@mail.ru](mailto:ttmp@mail.ru);
- экспертные заключения о возможности опубликования от всех организаций, сотрудниками которых являются авторы статьи.

Авторам, представившим статьи для публикации, будет выслан один экземпляр журнала. Материалы, переданные в журнал, редакционной коллегией не возвращаются.

Статьи должны быть выполнены в текстовом редакторе MS Office Word 2007 и оформлены в соответствии со следующими требованиями:

- формат страницы – А4 (210x297 мм), распечатка также делается на бумаге формата А4; отступы: слева, справа и сверху по 18 мм, снизу – 20 мм; нумерация страниц снизу по центру;
- шрифт основного текста – Arial размера 12 пунктов;
- межстрочный интервал – одинарный;
- отступ перед каждым абзацем (красная строка) – 5 знаков (примерно 10 мм);
- формулы должны быть набраны в тексте, вписывание формул от руки не допускается; размер базового шрифта в формулах – 12 пунктов;
- горизонтальные страницы допускается оформить отдельно от вертикальных страниц статьи, они должны быть также формата А4;
- рисунки должны быть вставлены в текст;
- не допускается разрыв таблиц, рисунков, заголовков при переходе со страницы на страницу;
- статья должна включать: УДК, авторов, название, аннотация, ключевые слова, текст, литературу, сведения об авторах. Пример оформления статьи приведен в **Приложении 1**.
- аннотация (*Abstracts*) (150-250 слов), выполняется *курсивом* (*аннотация должна быть логически выстроенной*);
- ключевые слова (*Keywords*) (5-15 основных терминов), выполняется *курсивом*;
- список литературы (*References*) выполняется в соответствии с требованиями (пример оформления литературы приведен в **Приложении 2**);
- сведения об авторах (*Information about authors*) должны включать: Ф.И.О. полностью, должность, место работы, ученая степень, ученое звание, контактный телефон, электронный и почтовый адреса;
- в конце статьи дается английская версия фамилий, инициалов авторов, названия статьи, аннотации, ключевых слов, литературы, сведений об авторах. **За качество перевода несут ответственность авторы статьи. Перевод должен быть выполнен профессионально, не через электронного переводчика.**

Редакционная коллегия оставляет за собой право исправлять ошибки без согласования с авторами.

УДК 621.746.5.047

Столяров А.М., Шевченко Е.А.

**УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА УЗКИХ ГРАНЕЙ СЛЯБОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ****Аннотация.** 150-250 слов**Ключевые слова:** 5-15 основных терминов

Текст статьи

Список литературы

Сведения об авторах

Stolyarov A.M., Shevchenko Y.A.

**IMPROVING THE QUALITY OF NARROW FACES CONTINUOUS SLAB BILLET****Abstract.** 150-250 words**Keywords:** 5-15 basic terms**References:****Information about authors:**

Приложение 2

Пример оформления литературы

## Список литературы

1. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Изучение качества слябовой заготовки, отлитой на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1 (41). С. 27 – 30.
2. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. Влияние температуры разливаемого металла на качество непрерывнолитого сляба и листового проката // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. Вып.12. С. 68–74.
3. Пат. 2061756 РФ, МПК С 21 В 7/00. Доменная печь / Курбацкий М.Н., Манаенко И.П., Монастырсков В.П. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Товарищество с ограниченной ответственностью «Техника и технология» (RU). № 9305232/02; заявл. 18.11.93; опубл. 10.06.96, Бюл. № 16. 4 с.: ил.
4. Донсков Е.Г., Лялюк В.П., Севернюк В.В. Работа воздушных фурм доменных печей. Днепропетровск: Пороги, 1997. 120 с.
5. Лукашов Г.Г., Савелов Н.И., Плискановский С.Т. Опыт работы доменных печей на воздушных фурмах различного диаметра // Сталь. 1972. № 7. С. 587-589.
6. Максимов Е.В, Альжанов М.К., Ержанов У.К. Влияние параметров фурмы на перепад газа в доменной печи. // Тез. докл. III Международного конгресса доменщиков. Новокузнецк, 1995. С.120.

**На английском языке:** Авторы (транслитерация). Название статьи на английском языке. Название журнала курсивом (транслитерация) [Название журнала на английском языке (если есть)]. Выходные данные на английском языке, либо цифровые.

1. Moshkunov V.V., Stolyarov A.M., Kazakov A.S. Determination of the length to point of solidification in strands of Peritectic Low Alloyed steels for pipes with using "Mini whale" effect. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1(37), pp. 24-26.

**Ответственный по изданию журнала:** канд.техн.наук. Тютеряков Н.Ш.

По всем вопросам обращаться по тел. 8(3519)298430, либо по E-mail: ТТАРЕОМР@mail.ru ; ttmp@mail.ru