

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

ISSN 0135-5910

Журнал включен в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Основан в марте 1944 года
Выходит ежемесячно

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникации и охране культурного наследия.
Регистрационный номер ПИ № 77-18479

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор - **Смирнов Л.А.**, академик РАН

Зам.главного редактора - **Бессонов А.В.**, канд.экон.наук
Зам.главного редактора - **Курганов В.А.**, докт.техн.наук
профессор

Аксельрод Л.М., канд.техн.наук
Белов В.К., канд. физ.-мат.наук, доцент
Близнюков А.С., канд.техн.наук
Бродов А.А., канд.экон.наук
Быховский Л.З., докт.г-м.наук
Веденеев А.В., канд.техн.наук
Гарбер Э.А., докт.техн.наук, профессор
Дунаев В.А., докт.г-м.наук, профессор
Золотухин Ю.А., канд.техн.наук
Касимов А.М., докт.техн.наук, профессор
Космацкий Я.И., канд.техн.наук
Лубе И.И., канд.техн.наук
Ляшенко В.И., канд.техн.наук, ст.научн.сотр.
Муравьева И.Г., докт.техн.наук, ст.научн.сотр.
Протасов А.В., канд.техн.наук
Сенаторов П.П., канд.техн.наук
Сивак Б.А., канд.техн.наук, профессор
Смирнов А.Н., докт.техн.наук, профессор
Страхов В.М., канд.техн.наук, ст.научн.сотр.
Товаровский И.Г., докт.техн.наук, профессор
Тютюник С.В., канд.техн.наук
Филиппов Г.А., докт.техн.наук, профессор
Харитонов В.А., канд.техн.наук
Шешуков О.Ю., канд.техн.наук доцент

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief - **Smirnov L.A.**, Academician of Academy of Sciences of Russia

Deputy Editor-in-Chief - **Bessonov A.V.**, PhD (Econ)
Deputy Editor-in-Chief - **Kurganov V.A.**, Higher Doctorate (Tech), Professor

Axel'rod L.M., PhD (Tech)
Belov V.K., PhD (Tech), Assistant Professor
Bliznyukov A.S., PhD (Tech)
Brodov A.A., PhD (Econ)
Bykhovsky L.Z., Higher Doctorate (Geology)
Vedeneev A.V., PhD (Tech)
Garber E.A., Higher Doctorate (Tech), Professor
Dunaev V.A., Higher Doctorate (Geology), Professor
Zolotukhin Yu.A., PhD (Tech)
Kasimov A.M., Higher Doctorate (Tech), Professor
Kosmatsky Ya.I., PhD (Tech)
Lube I.I., PhD (Tech)
Lyashenko I.I., PhD (Tech), Senior Researcher
Murav'eva I.G., Higher Doctorate (Tech), Senior Researcher
Protasov A.V., PhD (Tech)
Senatorov P.P., PhD (Tech)
Sivak B.A., PhD (Tech), Professor
Smirnov A.N., Higher Doctorate (Tech), Professor
Strakhov V.M., PhD (Tech), Senior Researcher
Tovarovsky I.G., Higher Doctorate (Tech), Professor
Tyutyunik S.V., PhD (Tech)
Filippov G.A., Higher Doctorate (Tech), Professor
Kharitonov V.A., PhD (Tech)
Sheshukov O.Yu., Higher Doctorate (Tech), Assistant Professor

Редактор - Смильтина В.В.

Ведущие редакторы разделов - Бухова Л.М., Зиновьева Н.Г.

Корректор - Власова Н.А.

Компьютерная верстка - Яшина Н.Н., Галахова А.Г.

Контакты по вопросам подписки, публикации статей и рекламы: **Бессонов Анатолий Васильевич** +7(495) 719-07-38; +7-903-513-56-39
bessonov@chermetinfo.com

Контакты по вопросам доставки: +7(499) 124-49-09 **Бухова Людмила Михайловна**

Издатель - ОАО «Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии»

117218, Москва, ул. Кржижановского, д. 14, корп. 3, ОАО «Черметинформация»

Тел: (495) 718-07-10, 719-07-92, Факс: (499) 125-78-44 E-mail: main@chermetinfo.com Адрес сайта: chermetinfo.com

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

2018

ВЫПУСК 1 (1417)
МОСКВА

БЮЛЛЕТЕНЬ
научно-технической
и экономической
информации

ISSN 0135-5910

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением
законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия
Регистрационный номер ПИ № 77-18479

СОДЕРЖАНИЕ

Петракова Т.М., Иванова И.М. Итоги работы предприятий черной металлургии России за 9 мес. 2017 г.	3
“Металл-Экспо” как драйвер и генератор идей развития индустрии	16
Чижикова В.М. Наилучшие доступные технологии в металлургии	19

НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ИНСТИТУТАХ

Горнорудное производство	
Еронец С.П., Ткачев М.Ю., Смирнов Е.Н., Скляр В.А., Сазонов А.В. Разработка конструкции и модельные исследования новой вентиляторной системы проветривания карьеров	26
Чендырев М.А., Журавлев А.Г. Техничко-экономические параметры транспортирования горной массы из карьера автомобильным наклонным карьерным подъемником	33
Аглодомненное производство	
Фролов Ю.А., Каплун Л.И., Мищенко И.М., Асламова Я.Ю. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 10. Борьба с вредными выбросами агломерационных фабрик. Текущие выбросы агломерационных фабрик	37
Худяков А.Ю., Бойко М.Н., Баюл К.В., Ващенко С.В., Полякова Н.В., Петренко В.И. Альтернативные способы грануляции тонкоизмельченных железорудных концентратов	48
Дружков В.Г., Манашева Э.М., Макарова И.В., Потапова М.В., Шаган В.А. Выявление зависимости количества чугуна, проходящего через фурменные очаги, от диаметра горна доменной печи	54
Сталеплавильное производство	
Ганин Д.Р., Лицин К.В., Шевченко Е.А. Обзор и анализ устройств для подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы машин непрерывного литья заготовок	58
Бирюков А.Б., Иванова А.А. Математическое моделирование теплового состояния заготовки, формирующейся в кристаллизаторе, с использованием системы диагностики теплотехнических процессов	65

Прокатное производство	
Гарбер Э.А., Болобанова Н.Л., Трусов К.А. Моделирование напряжений и деформаций в плоской стальной полосе при ее правке в роликовой правильной машине ..	68
Трубное производство	
Чубуков М.Ю., Руцкий Д.В., Зюбан Н.А., Усков Д.П. Особенности строения микроструктуры низколегированных трубных сталей	73
Метизное производство	
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Уманский А.А., Соколов П.Д. Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковые проволоки с использованием углеродфторсодержащих материалов для ремонта прокатных валков	77
Производство и применение огнеупоров	
Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г. Восстановительная переработка техногенного микрокремнезема с применением бурогоугольного полукокса	87
Металлургическое оборудование и литейное производство	
Болдырев Д.А., Попова Л.И. Структура и свойства модифицированных чугунов после термовременной обработки	93
Экономика, управление и организация производства, инвестиции	
Андреева Л.И., Ушаков Ю.Ю. Подход к оценке эффективности системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов	97
Экология и ресурсосбережение	
Ганул А.О., Дождиков В.И., Мордовкин Д.С. Математическая модель нагрева металла в методической печи с учетом подогрева воздуха	102
Модернизация оборудования и реконструкция заводов черной металлургии за рубежом	106
Новости зарубежной периодики	114
ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ	116
Аннотации к статьям	123
Статистика	133

CONTENTS

Petrakova T.M., Ivanova I.M. The Results of the Activities of the Enterprises in the Iron and Steel Industry in Russia within the 9 months in 2017.....	3
The “Metall-Ekspo” as the Driver and Generator of the Ideas of the Development of the Industry	16
Chizhikova V.M. The Best Approachable Technologies in the Iron and Steel Industry.....	19
AT ENTERPRISES AND INSTITUTES	
The Ore-Mining Industry	
Eron’ko S.P., Tkachev M.Yu., Smirnov E.N., Sklyar V.A., Sazonov A.V. The Development of the Design and Model Investigations into the New Fan System for the Ventilation of the Open Pits.....	26
Chendyrev M.A., Zhuravlev A.G. The Technical and Economic Parameters of the Transportation of the Mined Rock from the Open Pit Using the Inclined Automotive Open-Pit Elevator	33
The Sintering and Blast Furnace Processes	
Frolov Yu.A., Kaplun L.I., Mishchenko I.M., Aslamova Ya.Yu. The Status and Prospects for the Development of the Technology for Manufacturing the Sinter. The Part 10. The Control of the Harmful Emissions from the Sintering Plants. The Current Emissions from the Sintering Plants.....	37
Khudyakov A.Yu., Boiko M.N., Bayul K.V., Vashchenko S.V., Polyakova N.V., Petrenko V.I. The Alternative Methods of the Granulation of the Finely Grounded Iron Ore Concentrates.....	48
Druzhkov V.G., Manasheva E.M., Makarova I.V., Potapova M.V., Shagan V.A. The Discovery of the Dependence of the Amount of the Pig Iron Flowing through the Combustion Zones on the Blast Furnace Hearth Diameter.....	54
Steelmaking	
Ganin D.R., Litsin K.V., Shevchenko E.A. The Review and Analysis of the Devices for Feeding the Casting Powders into the Moulds of the Continuous Casters for the Billets	58
Biryukov A.B., Ivanova A.A. The Mathematical Modeling of the Thermal State of the Strand Formed in the Mould Using the System for the Diagnostics of Heat Engineering Processes.....	65

Rolling Mill Practice		
Garber E.A., Bolobanova N.L., Trusov K.A. The Simulation of the Stresses and Deformations in the Plane Steel Strip during its Straightening in the Roller Straightening Machine	68	
Production of Pipes and Tubes		
Chubukov M.Yu., Rutskiy D.V., Zyuban N.A., Uskov D.P. The Special Features in Morphology of the Microstructures of the Low Alloy Tubular Steels.....	73	
Wire Products Manufacturing		
Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Usol’tsev A.A., Umanskiy A.A., Sokolov P.D. The Development of the New Cored Wires for Surfacing. The New Cored Wires with the Use of the Carbon and Fluorine Containing Materials for the Repair of the Mill Rolls.....	77	
Production and Application of Refractories		
Anikin A.E., Galevskiy G.V., Rudneva V.V., Galevskiy S.G. The Reducing Processing of the Technogeneous Micro Silica with the Use of the Brown Coal Semicoke.....	87	
Metallurgical Equipment and Foundry Practice		
Boldyrev D.A., Popova L.I. The Structures and Properties of the Inoculated Cast Irons after the Temperature – Time Processing.....	93	
Economics, Management, and Organization of Production, Investments		
Andreeva L.I., Ushakov Yu.Yu. The Approach to the Evaluation of the Efficiency of the System for the Maintenance and Repair of the Open-Pit Dump Trucks	97	
Resource Saving and Ecology		
Ganul A.O., Dozhdikov V.I., Mordovkin D.S. The Mathematical Model of Heating the Metal in the Continuous Furnace Taking into Account the Preliminary Air Heating.....	102	
Modernization of the Equipment and Reconstruction of the Plants in the Foreign Iron and Steel Industry		106
The News of the Foreign Periodicals.....		114
EXPRESS INFORMATION.....		116
The Abstracts for the Articles		123
Statistics		133

INHALT

Petrakowa T.M., Iwanowa I.M. Arbeitsergebnisse der Unternehmen von Eisenhüttenindustrie Russlands für 9 Monaten 2016.....	3
“Metal-Expo” als Treiber und Ideengeber für die Entwicklung der Industrie.....	16
Tschishikowa W.M. Beste verfügbare Technologien in der Metallurgie.....	19
IN BETRIEBEN UND INSTITUTEN	
Erzbergbau	
Eronko S.P., Tkatschew M.Ju., Smirnow E.N., Skljär W.A., Sasonow A.W. Entwicklung der Konstruktion und die Modellstudien des neuen Lüftungssystems für Steinbrüche.....	26
Tschendyrew M.A., Shurawlew A.G. Technische und wirtschaftliche Parameter für den Transport von Gesteinsmasse aus dem Steinbruch durch Automobilschrägaufzug.....	33
Sinter- und Roheisenerzeugung	
Frolov Ju.A., Kaplun L.I., Mitschenko I.M., Aslamowa Ja.Ju. Stand und Perspektiven der Entwicklung der Technologie der Sinterherstellung. Teil 10. Bekämpfung Schadstoffemissionen aus Agglomerationsfabriken. Aktuelle Emissionen von Agglomerationsfabriken	37
Chudjakow A.Ju., Boiko M.N., Bajul K.W., Watschenko S.W., Poljakowa N.W., Petrenko W.I. Alternative Verfahren zur Granulierung von feinteiligen Eisenerzkonzentraten.....	48
Drushkow W.G., Manaschewa E.M., Makarowa I.W., Potapowa M.W., Schagan W.A. Bestimmung der Abhängigkeit der Roheisenmenge, die durch die Windformzone gelangt, vom Durchmesser des Hochofengestells	54
Stahlerzeugung	
Ganin D.R., Lizin K.W., Schewtschenko E.A. Übersicht und Analyse von Vorrichtungen zur Zufuhr von schlackenbildendem Gemischen im Kristallisator von Stranggießanlage	58
Birjukow A.B., Iwanowa A.A. Mathematische Modellierung des thermischen Zustands des im Kristallisator gebildeten Knüppels unter Verwendung des Diagnose-systems für wärmetechnische Prozesse.....	65

Walzbetrieb		
Garber E.A., Bolobanova N.L., Trusow K.A. Modellierung von Spannungen und Verformungen in der Flachstahlband bei Richten in der Rollenrichtmaschine	68	
Rohrherstellung		
Tschubukow M.Ju., Ruzki D.W., Sjuban N.A., Uskow D.P. Merkmale der Gefügestruktur von niedriglegierten Rohrstählen.....	73	
Metallwarenerzeugung		
Kosyrew N.A., Krjukow R.E., Usolzew A.A., Umanski A.A., Sokolow P.D. Entwicklung der Pulverdrähte für Auftragschweißung. Pulverdrähte unter Verwendung von kohlenstoff - fluorhaltigen Materialien zur Reparatur von Walzrollen.....	77	
Erzeugung und Anwendung von Feuerfeststoffen		
Anikin A.E., Galewski G.W., Rudnewa W.W., Falewski S.G. Wiederherstellungsverarbeitung von technogenen Kieselsäure unter Verwendung von Braunkohlenhalbkoks.....	87	
Hüttenausrüstungen und Gießerei		
Boldyrew D.A., Popowa L.I. Struktur und Eigenschaften von modifizierten Gusseisen nach der Wärmezeitbehandlung.....	93	
Ökonomik, Leitung und Organisation der Produktion, Investitionen		
Andreeva L.I., Uschakow Ju.Ju. Ansatz zur Bewertung der Effizienz des Systems zur Wartung und Reparatur von Tagebaukippern.....	97	
Ressourceneinsparung und Ökologie		
Ganul A.O., Doshdikow W.I., Mordowkin D.S. Mathematisches Modell der Metallheizung im Durchlaufofen unter Berücksichtigung der Luftherhitzung.....	102	
Ausrüstung Modernisierung und Rekonstruktion von Eisenhüttenwerken im Ausland.....		106
Nachrichten der ausländischen Zeitschriften		114
EXPRESS-INFORMATIONEN.....		116
Anmerkungen zu den Artikeln		123
Statistik.....		133

ИТОГИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ РОССИИ ЗА 9 мес. 2017 г. *¹

Т. М. ПЕТРАКОВА, канд. экон. наук (ОАО «Черметинформация»)

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЗА 9 мес. 2017 г.

За 9 мес. 2017 г. индекс промышленного производства*² составил 101,8 % по сравнению с соответствующим периодом 2016 г. Производ-

ство промышленной продукции по основным обрабатывающим производствам характеризуется следующими данными:

	9 мес. 2017 г. к 9 мес. 2016 г., %
Обрабатывающие производства	101,0
В том числе:	
производство кокса и нефтепродуктов	100,8
производство химических веществ и химических продуктов	105,6
металлургическое производство	98,6
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	96,2
производство электрического оборудования	104,8
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	100,3
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	112,4
производство прочих транспортных средств и оборудования	102,0

Из приведенных данных видно, что непосредственно в металлургическом производстве снижение составило 1,4 %, в то время как в целом по обрабатывающим производствам был рост на 1,0 %.

За 9 мес. 2017 г. темпы роста объемов производства металлоемких видов продукции увеличились и составили:

	9 мес. 2017 г. к 9 мес. 2016 г., %
Комбайны проходческие, шт.	176,5
Вагоны грузовые магистральные широкой колеи, тыс. шт.	172,0
Троллейбусы, шт.	168,5
Автомобили легковые, тыс. шт.	121,4
Бульдозеры и бульдозеры с поворотным отвалом, шт.	118,2
Суда прогулочные и спортивные, тыс. шт.	116,6
Средства автотранспортные грузовые, тыс. шт.	114,2
Автобусы, тыс. шт.	112,3
Тракторы для сельского хозяйства прочие, шт.	108,9
Средства транспортные для коммунального хозяйства и содержания дорог, шт.	105,5
Сеялки, тыс. шт.	104,1

В то же время отмечается снижение темпов роста по ряду металлоемких видов продукции:

	9 мес. 2017 г. к 9 мес. 2016 г., %
Машины литейные для металлургического производства, тыс. т	97,6
Электровагоны магистральные, шт.	88,8
Машины кузнечно-прессовые, шт.	84,4
Прицепы и полуприцепы, технически допустимая максимальная масса которых не более 0,75 т, тыс. шт.	81,7

*¹ *Использованы материалы Федеральной службы государственной статистики РФ, Минэкономразвития РФ, Минпромторга РФ, ОАО «Черметинформация», корпорации «Чермет», публичной отчетности предприятий.*

*² *По данным Федеральной службы государственной статистики, индекс промышленного производства охватывает следующие виды деятельности: «добыча полезных ископаемых», «обрабатывающие производства», «производство и распределение электроэнергии, газа и воды». Он рассчитывается на основе динамики производства 730 важнейших товаров-представителей (в натуральном или стоимостном выражении). В качестве весов используется структура валовой добавленной стоимости по видам экономической деятельности за базисный (2002) год с учетом поправки на неформальную деятельность.*

Приведенные данные отражают разнонаправленную динамику в ключевых металлопотребляющих отраслях.

Динамика производства основных видов продукции черной металлургии в рассматриваемом

периоде приведена в табл. 1. Снижение объемов производства к соответствующему периоду предыдущего года отмечается по железорудному концентрату, листовому горячекатаному стальному прокату, без дополнительной обработки и коксу.

**ТАБЛИЦА 1. ДИНАМИКА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
ЗА 9 мес. 2017 И 2016 г., млн т**

Продукция	9 мес. 2017 г.	9 мес. 2016 г.	Темп роста, %
Железорудный концентрат	71,43	76,04	93,9
Железорудные окатыши (окисленные)	35,99	31,85	113,0
Чугун переделный в чушках, болванках или в прочих первичных формах	38,65	38,52	100,3
Сталь	53,67	52,36	102,5
Готовый прокат черных металлов	46,67	45,70	102,1
В том числе:			
сортовой и катанка горячекатаные стальные	10,66	10,29	103,6
листовой горячекатаный стальной, без дополнительной обработки	14,55	14,67	99,2
листовой холоднокатаный стальной, без дополнительной обработки, шириной не менее 600 мм	6,08	5,69	107,0
профили незамкнутые горячей обработки стальные, прокат листовый стальной в пакетах и профиль рельсовый для железных дорог и трамвайных путей стальной	3,88	3,78	102,7
Стальные трубы	6,80	6,40	106,2
Кокс	20,72	21,12	98,1

За 9 мес. 2017 г. внутреннее потребление проката черных металлов оценивается около 29,0 млн т, или 110,1 % к 9 мес. 2016 г. При этом поставки проката отечественного производства составили около 24,9 млн т, или 104,8 % к уровню 9 мес. 2016 г.

Внутреннее потребление стальных труб за 9 мес. 2017 г. составило около 7,6 млн т и снизилось по сравнению с 9 мес. 2016 г. на 0,4 %. При этом поставки труб отечественного производства достигли около 7,0 млн т и уменьшились по сравнению с 9 мес. 2016 г. на 3,4 %.

За 9 мес. 2017 г. доля основных производителей металлопродукции (восемь крупнейших металлургических комбинатов отрасли^{*3}) в общеотраслевом объеме производства составляет, %:

	Чугун	Сталь	Прокат
9 мес. 2016 г.	94,2	79,6	81,2
9 мес. 2017 г.	94,4	79,4	81,3

Из приведенных данных видно, что высокая концентрация производства в отрасли сохраняется, а доля ведущих комбинатов в общем объеме производства чугуна и проката несколько увеличилась.

^{*3} Комбинаты: ЗСМК, ММК, НТМК, НЛМК, ОЭМК, ЧерМК, “Уральская сталь”, ЧелМК.

Производство готового проката на восьми ведущих предприятиях отрасли в январе–сентябре 2017 г. составило 37,95 млн т, или 102,2 % по отношению к январю–сентябрю 2016 г., а выручка от реализации продукции в фактических ценах (без НДС) на указанных предприятиях выросла на 19,7 % и составила:

Комбинат	9 мес. 2017 г. к 9 мес. 2016 г., %
Западно-Сибирский (ЗСМК)	121,1
Магнитогорский (ММК)	116,9
Нижнетагильский (НТМК)	131,7
Новолипецкий (НЛМК)	118,7
Оскольский электрометаллургический (ОЭМК)	117,4
“Уральская сталь”	128,2
Челябинский (ЧелМК)	115,0
Череповецкий (ЧерМК)	119,6
По восьми предприятиям	119,7

На семи комбинатах — ММК, ЧерМК, НЛМК, ЗСМК, НТМК, ЧелМК и “Уральской стали” рост выручки от реализации продукции был следствием увеличения физического объема производства продукции на 0,2–22,1 % и среднего уровня отпускных цен на 5,1–27,0 %. На ОЭМК рост выручки от реализации продукции был обеспечен за счет повышения среднего уровня отпускных цен на 23,1 % при снижении на 4,6 % объема производства в натуральном выражении.

Максимальные темпы роста объемов выручки от реализации продукции по отношению к январю–сентябрю 2016 г. среди рассматриваемых комбинатов наблюдались на НТМК и “Уральской стали”, а минимальные — на ЧелМК.

За 9 мес. 2017 г. по сравнению с 9 мес. 2016 г. производство стальных труб в натуральном выражении на семи крупных предприятиях трубной отрасли увеличилось на 7,9 %, а выручка от реализации продукции выросла на 8,6 % и составила:

Завод	9 мес. 2017 г. к 9 мес. 2016 г., %
Волжский трубный (ВТЗ)	83,6
Выксунский металлургический (ВМЗ)	120,2
Первоуральский новотрубный (ПНТЗ)	112,3
Северский трубный (СТЗ)	111,1
Синарский трубный (СинТЗ)	106,2
Таганрогский металлургический (ТагМЗ)	123,2
Челябинский трубопрокатный (ЧТПЗ)	107,4
Итого	108,6

На ВМЗ, ПНТЗ, СинТЗ и ТагМЗ рост выручки от реализации продукции обеспечен за счет увеличения объема производства в натуральном выражении на 2,5–14,9 % и среднего уровня отпускных цен на 0,9–8,6 %. На СТЗ и ЧТПЗ рост выручки от реализации продукции обусловлен повышением объема производства в натуральном выражении на 11,8–19,6 % и при снижении среднего уровня отпускных цен на 0,6–10,2 %. На ВТЗ уменьшение выручки вызвано снижением объема производства в натуральном выражении на 17,4 % и ростом средних отпускных цен на 1,3 %.

Изменение темпов роста производства основных видов металлопродукции ведущими комбинатами отрасли составило, %:

Комбинат	9 мес. 2017 г. к 9 мес. 2016 г.		
	чугун	сталь	прокат
ЗСМК	102,5	104,3	105,7
ММК	103,1	101,4	101,1
НТМК	100,7	103,7	103,7
НЛМК	100,0	102,2	102,9
ОЭМК		97,4	95,4
“Уральская сталь”	89,2	120,7	122,1
ЧелМК	101,2	101,9	100,2
ЧерМК	97,9	101,2	100,6

По основным трубным предприятиям производство стальных труб характеризуется следующими данными:

Завод	9 мес. 2017 г. к 9 мес. 2016 г., %
ВТЗ	82,6
ВМЗ	114,9
ПНТЗ	111,3
СТЗ	111,8
СинТЗ	102,5
ТагМЗ	113,5
ЧТПЗ	119,6

Объем производства труб увеличился в большей степени на ЧТПЗ, а снижение отмечается лишь на ВТЗ.

Уровень производства труб различного сортамента по сравнению с январем–сентябрем 2016 г. составил, %: стальные для нефте- и газопроводов бесшовные — 98; обсадные бесшовные стальные — 123,9; насосно-компрессорные бесшовные стальные — 93,6; стальные электросварные — 100,5; обсадные, насосно-компрессорные и бурильные, используемые для бурения нефтяных или газовых скважин, бесшовные стальные — 110,4; стальные водогазопроводные — 80,5; обсадные и насосно-компрессорные, используемые для бурения нефтяных или газовых скважин, сварные, наружным диаметром не более 406,4 мм, стальные — 141,8.

За 9 мес. 2017 г. коэффициент использования производственной мощности по сравнению с 9 мес. 2016 г. увеличился по стальным трубам (6 %), готовому прокату (3 %) и стали (3 %), остался без изменения по железной руде, а снизился по чугуну (1 %) и коксу (3 %).

За 9 мес. 2017 г. суммарный стоимостный объем экспорта продукции черной металлургии — сырья (железных руд и концентратов, кокса, лома, отходов), ферросплавов, стальных слитков, заготовки и проката — составил около 14,9 млрд долл. и вырос по сравнению с 9 мес. 2016 г. в 1,4 раза, в том числе в страны дальнего зарубежья — в 1,3 раза, а в страны СНГ — в 1,6 раза. Изменение стоимостного объема экспорта было обусловлено изменением его физических объемов (табл. 2) и уровня средних фактических экспортных цен за 9 мес. 2017 г. по сравнению с 9 мес. 2016 г. (табл. 3).

ТАБЛИЦА 2. ФИЗИЧЕСКИЙ ОБЪЕМ ЭКСПОРТА ПРОДУКЦИИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
(по данным ФТС РФ), тыс. т

Продукция	9 мес. 2016 г.			9 мес. 2017 г.		
	всего	в том числе		всего	в том числе	
		дальнее зарубежье	страны СНГ		дальнее зарубежье	страны СНГ
Руды и концентраты железные, включая обожженный пирит	13212,7	11713,3	1499,5	15240,7	13620,4	1620,3
Кокс и полукокс из каменного угля, лигнита или торфа, агломерированные или неагломерированные; уголь ретортный	1493,1	645,1	848,0	2226,3	801,2	1425,1
Чугун переделный и зеркальный в чушках, болванках или прочих первичных формах	3769,7	3673,8	95,9	3377,0	3288,2	88,8
Ферросплавы	565,6	538,9	26,7	550,7	501,0	49,7
Полуфабрикаты из железа или нелегированной стали	10909,4	10731,7	177,7	10434,6	10167,6	267,0
Прокат плоский из железа и нелегированной стали	6552,8	5447,2	1105,6	6592,5	5259,4	1333,0

ТАБЛИЦА 3. УРОВЕНЬ СРЕДНИХ ФАКТИЧЕСКИХ ЦЕН ЭКСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ
В ЯНВАРЕ–СЕНТЯБРЕ 2017 г.*

Продукция	Средняя фактическая цена за 1 т, долл.	В том числе по		Январь–сентябрь 2017 г. к январю–сентябрю 2016 г., %
		странам дальнего зарубежья	государствам-участникам СНГ	
Руды и концентраты железные, включая обожженный пирит	74,2	71,1	99,9	170,3
Кокс и полукокс из каменного угля, лигнита или торфа, агломерированные или неагломерированные; уголь ретортный	196,7	169,1	212,3	176,6
Чугун переделный и зеркальный в чушках, болванках или прочих первичных формах	338,0	335,9	416,8	155,7
Ферросплавы	1755,9	1774,3	1570,8	108,1
Полуфабрикаты из железа или нелегированной стали	400,8	399,8	441,5	141,2
Прокат плоский из железа и нелегированной стали	514,2	483,5	635,3	145,0

* Отношение стоимости экспортированных товаров к их количеству.

За 9 мес. 2017 г. стоимостный объем импорта черных металлов (лома и отходов, чугуна, ферросплавов, стальных слитков, заготовки и проката) составил 3,6 млрд долл., вырос в 1,7 раза, в том числе из стран дальнего зарубежья — в 1,6 раза, а из стран СНГ — в 1,8 раза. Изменение стоимостного объема импорта было обусловлено изменением его физических объемов и

уровня средних фактических импортных цен.

В целом физический объем импорта черных металлов (кроме чугуна, ферросплавов, отходов и лома) вырос в 1,6 раза, в том числе из стран дальнего зарубежья и из стран СНГ — в 1,6 раза. Средние цены импорта выросли на 7,9 % (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4. ФИЗИЧЕСКИЙ ОБЪЕМ ИМПОРТА ПРОДУКЦИИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
(по данным ФТС РФ), тыс. т

Продукция	9 мес. 2016 г.			9 мес. 2017 г.		
	всего	в том числе		всего	в том числе	
		дальнее зарубежье	страны СНГ		дальнее зарубежье	страны СНГ
Черные металлы (кроме чугуна, ферросплавов, отходов и лома)	2704,6	1051,3	1653,4	4257,2	1670,5	2586,6
Трубы стальные	331,5	138,8	192,7	554,9	264,3	290,6

Стоимостный объем импорта стальных труб вырос на 49,3 %, в том числе из стран дальнего зарубежья — на 45,9 %, а из стран СНГ — на 57,3 %. Физический объем импорта стальных труб вырос на 67,4 %, в том числе из стран дальнего зарубежья — на 90,5 %, а из стран СНГ — на 50,8 %. Средние импортные цены на стальные трубы снизились на 10,8 %. При этом средние цены импорта из стран дальнего зарубежья уменьшились на 23,4 %, а из стран СНГ повыси-

лись на 4,4 %. Необходимо отметить, что в январе–сентябре 2016 и 2017 г. трубы из стран СНГ были дешевле труб из стран дальнего зарубежья в среднем в 3,3 и 2,4 раза соответственно.

В сентябре 2017 г. по отношению к декабрю 2016 г. цены мирового рынка на прокат, вывозимый из стран СНГ в порты Европы и Дальнего Востока, выросли в пределах 10,3–34,2 %. Динамика изменения цен на прокат черных металлов приведена в табл. 5.

ТАБЛИЦА 5. ЭКСПОРТНЫЕ ЦЕНЫ НА ПРОКАТ, ВЫВОЗИМЫЙ ИЗ СТРАН СНГ, долл/т
(источник: <http://www.metaltorg.ru/>)

Продукция	На условиях СНГ – порты Европы		На условиях СНГ – Дальний Восток	
	декабрь 2016 г.	сентябрь 2017 г.	декабрь 2016 г.	сентябрь 2017 г.
Слябы	410–420	490–505	420–435	505–525
Заготовка	390–400	495–530	380–395	505–535
Арматурная сталь	425–450	540–585	420–450	545–590
Катанка	435–450	550–585	435–450	555–595
Толстый лист	470–540	575–605	485–555	585–639
Рулоны:				
горячекатаные	490–525	575–635	505–535	585–645
холоднокатаные	575–595	610–680	580–605	620–690
<i>Примечание.</i>				
1. Для СНГ — цены на условиях ФОБ, включая комиссионные.				
2. Дальний Восток (СНГ) — без учета комиссии, премий, доплат.				
3. Цены приведены на конец соответствующего месяца.				

В сентябре 2017 г. по сравнению с декабрем 2016 г. индекс изменения цен в металлургическом производстве вырос на 4,6 %, в целом по промышленности индекс цен увеличился на 5,4 %. Тарифы на грузовые железнодорожные перевозки внутри страны выросли на 4,0 %. Индексы цен на основные топливно-энергетические ресурсы в сентябре 2017 г. по отношению к декабрю

2016 г. составили, %: электроэнергия, отпущенная промышленным потребителям, — 112,7; природный газ — 137,9; дизельное топливо — 105,9; уголь для коксования — 77,9; топочный мазут — 119,7.

Динамика изменения цен, тарифов, инфляции и курса доллара в сентябре 2017 г. по сравнению с декабрем 2016 г. приведена ниже, %:

Наименование	Сентябрь 2017 г. к декабрю 2016 г., %
Курс рубля к доллару	93,18
Инфляция	101,70
Промышленность	105,43
Грузовые железнодорожные перевозки	104,00
Обрабатывающие производства	102,88
Металлургическое производство*	104,61
Производство чугуна, стали и ферросплавов	106,85
Руда железная товарная необогащенная	127,54
Чугун переделный в чушках, болванках или в прочих первичных формах	112,99
Прокат листовой горячекатаный стальной, без дополнительной обработки	104,08
Прокат листовой холоднокатаный из прочих нелегированных сталей, без дополнительной обработки, шириной не менее 600 мм	97,75
Прокат сортовой и катанка стальные прочие, кованные, горячекатаные, горячекатаные или экструдированные, без дополнительной обработки, включая смотанные после прокатки, из нелегированных сталей	108,25
Рельсы железнодорожные широкой колеи	105,78
Колеса цельнокатаные	129,95
Производство стальных труб, полых профилей и фитингов	102,56
Кокс и полукоксы из каменного угля	105,57
Огнеупорные изделия	101,70
<i>* Индекс изменения цен по металлургическому производству установлен Федеральной службой государственной статистики РФ без учета данных по добыче железных руд, производства кокса и изделий огнеупорных.</i>	

В сентябре 2017 г. по сравнению с декабрем 2016 г. снизились цены, в частности, на прокат сортовой и катанку прочие, кованные, горячекатаные, горячекатаные или экструдированные, без дополнительной обработки, включая смотанные после прокатки, из прочих легированных сталей (11,3 %) и листовой холоднокатаный из прочих нелегированных сталей, без дополнительной обработки, шириной не менее 600 мм (2,3 %); штрипс узкий холоднокатаный (16,9 %); трубы бурильные для бурения нефтяных и газовых скважин бесшовные стальные (на 4,9 %) и насосно-компрессорные бесшовные стальные (9,3 %).

Цены выросли в основном на руду железную товарную небогащенную (на 39,6 %); концентрат железорудный (на 25,6 %); агломерат желе-

зорудный доменный (на 14,6 %); окатыши железорудные (окисленные) (на 10,2 %) и чугуны передельный в чушках, болванках или в прочих первичных формах (на 26,6 %); прокат листовой горячекатаный стальной, без дополнительной обработки (5,6 %) и листовой из электротехнической стали, шириной не менее 600 мм (17,3 %); рельсы железнодорожные широкой колеи (на 5,3 %), колеса цельнокатаные (на 25,0 %); трубы: стальные бесшовные горячедоформированные (на 20,7 %), стальные электросварные (9,3 %), стальные водогазопроводные (5,5 %) и сварные для нефте- и газопроводов, наружным диаметром не более 406,4 мм, стальные (на 3,6 %).

Динамика цен на российском рынке по некоторым видам металлопродукции в январе-сентябре 2017 г. приведена в табл. 6.

ТАБЛИЦА 6. ЦЕНЫ НА ПРОДУКЦИЮ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ, руб/т

Продукция	2016 г.	2017 г.								
	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Руда железная товарная небогащенная	1254	1252	1636	1726	1810	1852	1777	1605	1678	1751
Концентрат железорудный	2523	3179	3320	3470	3577	3315	2791	2367	2720	3170
Агломерат железорудный доменный	2675	3103	3092	3109	3632	3667	3267	2763	2912	3066
Окатыши железорудные (окисленные)	3920	4632	4730	4722	5450	4701	3947	3559	3754	4320
Чугун передельный в чушках, болванках или в прочих первичных формах	14570	18410	16956	17025	18235	17773	18327	18160	18187	18445
Прокат:										
листовой горячекатаный стальной, без дополнительной обработки	31619	34380	34708	35018	33483	33247	31060	28832	30199	33391
листовой холоднокатаный из прочих нелегированных сталей, без дополнительной обработки, шириной не менее 600 мм	40443	42502	42792	42662	40272	36003	32578	31531	33019	39499
листовой из нелегированных сталей, шириной не менее 600 мм, плакированный, с гальваническим или иным покрытием	46411	47745	48029	48725	49274	46415	45887	43575	43832	46519
сортовой и катанка стальные прочие, кованные, горячекатаные, горячекатаные или экструдированные, без дополнительной обработки, включая смотанные после прокатки, из нелегированных сталей	26673	27256	26827	26334	24744	23525	22223	22755	23970	26688
Рельсы железнодорожные широкой колеи	32573	32544	34132	34218	34250	34410	34429	34269	34428	34298
Колеса цельнокатаные	52857	52244	63049	62980	61763	65629	65814	65114	65553	66094
Трубы стальные:										
обсадные бесшовные стальные насосно-компрессорные	51343	50964	49753	49818	50125	49636	49362	51203	51868	51696
бесшовные стальные бурильные для бурения нефтяных и газовых скважин	60344	63459	60719	60947	57685	56786	57076	54322	54732	54714
бесшовные стальные	116578	115861	130083	116211	115041	110593	105656	106429	110567	110840

Продукция	2016 г.	2017 г.								
	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
стальные бесшовные горячедеформированные	45607	53961	53462	58710	55376	55434	53939	54805	56708	55057
стальные электросварные	32474	34353	34827	34585	35369	34053	30587	29716	30806	35506
стальные газопроводные для нефте- и газопроводов	32321	33671	33200	32800	34548	32699	32065	32012	32607	34093
сварные, наружным диаметром более 406,4 мм, стальные	69002	66536	74185	65671	66728	72765	71849	67481	69017	71464
сварные для нефте- и газопроводов, наружным диаметром не более 406,4 мм, стальные	35222	35695	38284	39989	37347	36127	35357	33920	33443	36493

За 9 мес. 2017 г. по сравнению с 9 мес. 2016 г. затраты на 1 руб. реализованной продукции на ведущих металлургических комбинатах вследствие превышения инфляции издержек над повышением среднего уровня отпускных цен металлопродукции увеличились на 3,6 коп., а производительность труда в стоимостном выражении выросла на 2487 тыс. руб/чел., или на 23,5 %. Повышение производительности труда за 9 мес. 2017 г. относительно 9 мес. 2016 г. обеспечено за счет роста выручки от реализации продукции (на 19,7 %) и снижения численности персонала (на 3 %).

На крупных трубных заводах за 9 мес. 2017 г. по сравнению с 9 мес. 2016 г. затраты на 1 руб. реализованной продукции увеличились на 6,4 коп., производительность труда в стоимостном выражении — на 621 тыс. руб., или на 8,3 %, вследствие роста выручки от реализации продукции (на 8,6 %) и сокращения численности (на 3,4 %).

Данные, характеризующие экономические показатели работы крупных комбинатов и ведущих заводов трубной промышленности, приведены в табл. 7 и 8.

ТАБЛИЦА 7. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ РАБОТУ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМБИНАТОВ

Предприятие	Прибыль от продаж, приходящаяся на 1 работающего, тыс. руб/чел.*		Затраты на 1 руб. реализованной продукции, коп.		Рентабельность продаж, %		Производительность труда, тыс. руб/чел.*	
	2017 г.	2016 г.	2017 г.	2016 г.	2017 г.	2016 г.	2017 г.	2016 г.
ЗСМК	70	853	99,3	89,4	0,7	10,6	9842	8028
ММК	4442	4268	79,2	76,5	20,8	23,5	21349	18177
НТМК	1992	1143	81,3	85,3	18,7	14,7	10668	7800
НЛМК	2341	2315	84,7	81,6	15,3	18,4	15293	12578
ОЭМК	1842	1455	79,1	80,0	20,9	20,0	8813	7280
“Уральская сталь”	51	226	99,3	96,0	0,7	4,0	7149	5619
ЧелМК	354	860	96,1	86,9	3,9	13,1	8985	6567
ЧерМК	2673	2761	82,0	77,8	18,0	22,2	14853	12426
Итого по перечисленным предприятиям	1935	1953	85,2	81,6	14,8	18,4	13088	10601

* В расчете на год.

К основным факторам, которые могут улучшить результаты деятельности комбинатов, следует отнести:

- непрерывную работу над повышением эффективности производства и продаж продукции;
- повышение доступности кредитов для предприятий;
- эффективное управление оборотным капиталом;
- повышение эффективности логистики;

– реализацию государственной программы импортозамещения в машиностроении и сельском хозяйстве;

- усиление государственной поддержки российского автомобилестроения, машиностроения и других металлопотребляющих отраслей, в том числе реализация инфраструктурных и строительных объектов федерального значения.

Продолжительность действия данных факторов оценивается на средне- и долгосрочный периоды.

ТАБЛИЦА 8. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ РАБОТУ ВЕДУЩИХ ТРУБНЫХ ЗАВОДОВ

Предприятие	Прибыль от продаж, приходящаяся на 1 работающего, тыс. руб/чел.*		Затраты на 1 руб. реализованной продукции, коп.		Рентабельность продаж, %		Производительность труда, тыс. руб/чел.*	
	2016 г.	2016 г.	2017 г.	2016 г.	2017 г.	2016 г.	2017 г.	2016 г.
ВТЗ	263	876	95,6	87,3	4,4	12,7	5993	6881
ПНТЗ	1041	1270	86,2	79,7	13,8	20,3	7526	6260
СТЗ	149	487	97,8	92,1	2,2	7,9	6926	6137
СинТЗ	464	837	92,4	85,4	7,6	14,6	6108	5754
ТарМЗ	28	-33	99,5	100,7	0,5	-0,7	6093	4661
ЧТПЗ	1029	2107	94,0	86,6	6,0	13,4	17046	15777
Итого по перечисленным предприятиям	508	943	93,7	87,3	6,3	12,7	8073	7452

* В расчете на год.

Существенными факторами, которые могут улучшить результаты деятельности крупных трубных заводов, прежде всего являются:

- совершенствование существующей технологии производства труб;
- реализация программ по оптимизации затрат;
- расширение номенклатуры производимой трубной продукции;

- реализация инвестиционных программ, направленных на повышение качества и расширение сортамента труб;

- замена физически и морально изношенных основных средств и внедрение нового технологического оборудования, обеспечивающего выпуск трубной продукции повышенного качества в соответствии с повышенными требованиями потребителей.

И. М. ИВАНОВА (ОАО "Черметинформация")

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
ЗА 9 мес. 2017 г.**

Изменения удельных затрат сырья, материалов и технологического топлива на производство чугуна, стали и проката за 9 мес. 2017 г. по сравнению с аналогичными показателями 2016 г. приведены в табл. 1.

нению с аналогичными показателями 2016 г. приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОИЗВОДСТВО 1 т ЧУГУНА, СТАЛИ И ПРОКАТА В ЦЕЛОМ ПО ОТРАСЛИ ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ, кг

Материалы и технологическое топливо	9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.	Изменение
При производстве чугуна			
Железорудная часть шихты:			
руда железная доменная	1632,2	1637,8	+5,6
агломерат	12,9	13,6	+0,7
окатыши	1109,1	1101,7	-7,4
Металлодобавки	510,2	522,5	+12,3
Скиповый кокс (сухой)	27,1	28,3	+1,2
Уголь каменный	413,0	408,7	-4,3
Природный газ, м ³	20,0	22,2	+2,2
Кислород, м ³	97,4	99,1	+1,7
Известняк (весь расход)	105,0	100,3	-4,7
В том числе в доменную печь	137,9	133,9	-4,0
	0,6	0,3	-0,3

Материалы и технологическое топливо	9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.	Изменение
При производстве стали			
Металлошихта:	1137,8	1138,1	+0,3
чугун	775,0	754,4	-20,6
шихтовая заготовка	0,6	0,6	0
стальной лом	288,0	310,9	+22,9
чугунный лом	2,3	2,5	+0,2
металлизированные окатыши	54,3	51,9	-2,4
железо из руды	2,8	2,6	-0,2
раскислители и легирующие	14,8	15,2	+0,4
Кислород, м ³	58,6	58,0	-0,6
Природный газ, м ³	3,5	3,7	+0,2
При производстве проката			
Всего стали на прокат готовый	1072,8	1074,8	+2,0
В том числе:			
слитки	1205,3	1210,5	+5,2
литая заготовка	1079,3	1078,7	-0,6

Как видно из данных табл. 1, в доменном производстве по итогам работы за 9 мес. 2017 г. по сравнению с аналогичным периодом 2016 г. в целом по отрасли произошло следующее изменение удельных затрат шихтовых материалов на 1 т выплавленного чугуна:

– увеличился суммарный расход железорудной шихты на 5,6 кг/т;

– сократился расход скипового кокса на 4,3 кг/т, при этом увеличился расход природного газа на 1,7 м³/т и расход угля каменного на 2,2 кг/т;

– снизился расход кислорода в дутье на 4,7 м³/т.

В составе железорудной части (ЖРЧ) шихты произошли следующие изменения: увеличился расход окатышей на 12,3 кг/т, расход агломерата сократился на 7,4 кг/т. Расход железной руды увеличился на 0,7 кг/т. На отраслевые показатели оказало влияние изменение показателей использования вышеуказанных ресурсов по предприятиям отрасли. Данные об изменении удельного расхода ЖРЧ, содержания железа в ЖРЧ и расхода скипового кокса по доменным цехам приведены в табл. 2 и 3.

ТАБЛИЦА 2. ИЗМЕНЕНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЖРЧ НА ПЕРЕДЕЛЬНЫЙ ЧУГУН И СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ШИХТЕ ПО ПРЕДПРИЯТИЯМ

Предприятие	Расход ЖРЧ, кг/т чугуна		Изменение расхода ЖРЧ, кг/т	Содержание железа в ЖРЧ, %	
	9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.		9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.
ЧерМК	1529,3	1533,1	+3,8	61,5	61,3
НЛМК	1655,9	1648,1	-7,8	57,93	57,85
ММК	1626,2	1645,6	+19,4	58,2	57,7
ЧелМК*	1657,3	1668,0	+10,7	Нет св.	Нет св.
ЕВРАЗ НТМК (ванадиевый чугун)	1623,0	1620,7	-2,3	57,5	57,8
ЕВРАЗ ЗСМК	1661,6	1676,9	+15,3	57,0	56,89
“Тулачермет”	1617,1	1653,5	+36,4	58,7	58,3
“Уральская сталь”	1804,6	1806,9	+2,3	55,4	55,2
Надеждинский МЗ	1733,5	1677,3	-56,2	52,0	53,0

* Экспертная оценка.

ТАБЛИЦА 3. УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД СКИПОВОГО КОКСА (В СУХОМ ВЕСЕ) НА 1 Т ПЕРЕДЕЛЬНОГО ЧУГУНА, КГ

Предприятие	9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.	Изменение
ЕВРАЗ НТМК (ванадиевый чугун)* ¹	369,1	361,1	-8,0
ЧерМК	402,8	400,4	-2,4
НЛМК* ¹	371,4/50,9	366,1/64,2	-5,3/+13,3
ЕВРАЗ ЗСМК* ¹	435,7/30,3	427,0/13,2	-8,7/-17,1
ММК	442,5	433,2	-9,3
“Уральская сталь”	466,5/—	478,9/6,9	+12,4/+6,9

Предприятие	9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.	Изменение
“Тулачермет”	445,7	444,9	-0,8
ЧелМК* ²	452,0	458,0	+6,0
Надеждинский МЗ* ¹	479,0/26,6	473,8/31,8	-5,2/+5,2

*¹ В знаменателе — каменный уголь.
*² Экспертная оценка.

Как видно из данных табл. 2, в отчетном периоде с наибольшим перерасходом железорудной шихты сработали ММК (+19,4 кг/т), ЕВРАЗ ЗСМК (+15,3 кг/т) и “Тулачермет” (+36,4 кг/т). При этом содержание железа на ММК снизилось на 0,5 %, на “Тулачермете” — на 0,4 %.

Снижение расхода металлошихты имело место на Надеждинском МЗ (-56,2 кг/т). На этом заводе увеличилось как содержание железа в ЖРЧ на 1,0 %, так и расход металлодобавок на 43,3 кг/т.

По расходу скипового кокса (см. табл. 3) за 9 мес. 2017 г. с экономией сработали практически все металлургические предприятия. Снижению расхода кокса способствовали такие факторы, как использование в качестве дополнительного источника тепла каменного угля, а также увеличение температуры горячего дутья.

Данные об изменении температуры горячего дутья доменных печей металлургических предприятий приведены на рис. 1.

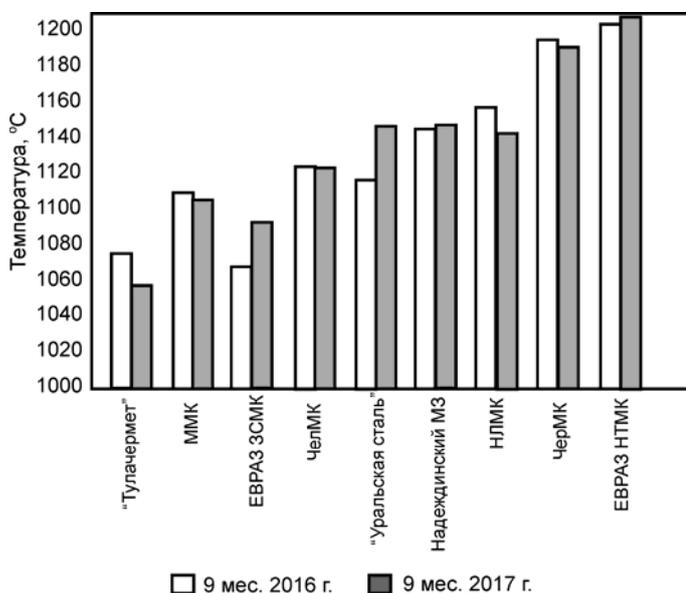


Рис. 1. Температура горячего дутья доменных печей

Данные рис. 1 показывают, что значительно по сравнению с аналогичным периодом прошлого года увеличили температуру горячего дутья ЕВРАЗ НТМК (+15 °C) и ЕВРАЗ ЗСМК

(+25 °C). В целом по отрасли температура горячего дутья составила 1138,7 °C.

Суммарный показатель затрат сырьевых материалов доменной плавки (железорудные материалы, кокс, природный газ, кислород), рассчитанный по коэффициентам энергоёмкости каждого материала и топлива, приведен как удельная энергоёмкость чугуна на рис. 2.

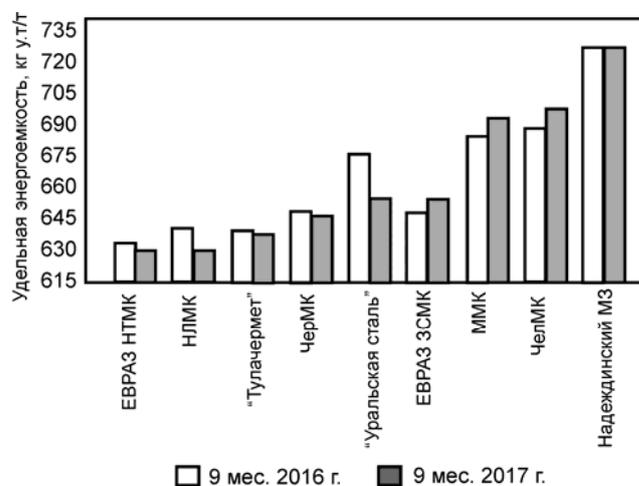


Рис. 2. Удельная энергоёмкость передельного чугуна

Как видно из рис. 2, увеличение энергоёмкости передельного чугуна имело место на ЕВРАЗ ЗСМК (+7 кг у.т./т) и ММК (+9 кг у.т./т). Основная причина — увеличение расхода природного газа на 27,3 и 18,2 м³/т соответственно.

При производстве стали за 9 мес. 2017 г. по сравнению с аналогичным периодом прошлого года в целом по отрасли расход металлошихты на производство стали увеличился на 0,3 кг/т. В составе металлошихты снижен расход чугуна на 20,6 кг/т, увеличен расход стального лома на 22,9 кг/т. Остальные составляющие металлошихты существенно не изменились (см. табл. 1).

В работе большинства конвертерных цехов устойчиво держится тенденция снижения расхода чугуна. Наибольшее снижение отмечено на НЛМК (-11,0 кг/т). В целом по отрасли снижение составило 1,3 кг/т (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4. ИЗМЕНЕНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЧУГУНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ, КГ/Т

Предприятие	9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.	Изменение
В целом по отрасли	924,0	922,7	-1,3
ЕВРАЗ ЗСМК	830,6	834,4	+3,8
ММК	887,5	889,6	+2,1
ЧерМК	904,6	897,5	-7,1
НЛМК	944,3	933,3	-11,0
ЧелМК*	969,7	1003,9	+34,2
ЕВРАЗ НТМК	1085,5	1078,9	-6,6

* Экспертная оценка.

На рис. 3 приведены результаты расчетов удельной энергоёмкости конвертерной стали.

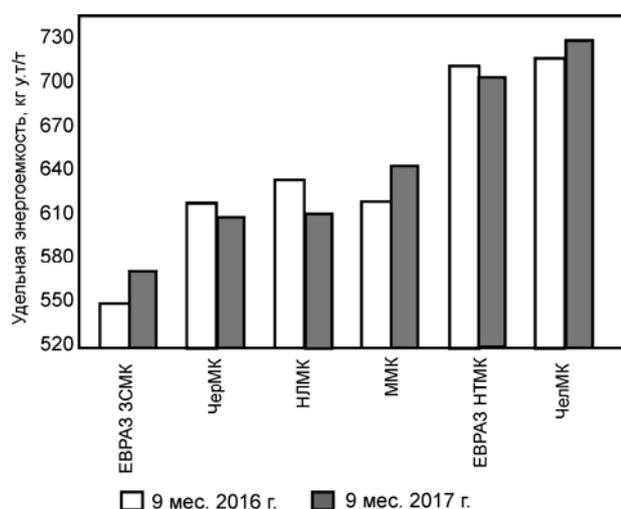


Рис. 3. Удельная энергоёмкость конвертерной стали

Минимальная энергоёмкость 1 т конвертерной стали на ЕВРАЗ ЗСМК, максимальная — на ЧелМК. На величину энергоёмкости конвертерной стали влияет как расход передельного чу-

гуна на 1 т стали, так и его энергоёмкость в доменном переделе (см. рис. 2). Высокая энергоёмкость конвертерной стали на ЕВРАЗ НТМК связана с особенностями технологии выплавки стали дуплекс-процессом с целью получения ванадиевого шлака.

В целом по отрасли энергоёмкость 1 т конвертерной стали по итогам работы за 9 мес. 2017 г. составляет 624,1 кг у.т/т.

В электросталеплавильном производстве на большинстве предприятий с полным металлургическим циклом (т. е. имеющих в своем составе доменные цехи) продолжает сохраняться тенденция снижения использования в шихте собственного передельного чугуна. Доля чугуна в шихте на этих предприятиях колеблется от 16 до 66 %. На традиционно работающих предприятиях второй группы доля чугуна в составе металлошихты остается в пределах 0,03–2,0 %, за исключением “Ижстали” и “ОМК-Сталь”, где доля чугуна составила 18,3 и 11,1 % соответственно.

В целом по отрасли удельный расход чугуна на электроплавку снизился с 194,6 до 177,4 кг/т, или на 17,2 кг/т (табл. 5). Доля чугуна в шихте по отрасли составляет 15,3 %, что на 1,5 % ниже уровня прошлого года.

ТАБЛИЦА 5. УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ЧУГУНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОСТАЛИ, КГ/Т

Группа цехов	Предприятие	9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.	Доля чугуна в шихте, %	
				9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.
	Всего по отрасли	194,6	177,4	16,8	15,3
1	ММК	169,3	181,8	14,9	16,0
	ЕВРАЗ ЗСМК (промплощадка № 2)	303,8	278,1	27,6	25,0
	“Уральская сталь”	574,2	458,9	49,4	39,0
	ЧерМК	451,6	403,2	39,5	35,4
	ЧелМК*	823,7	799,0	68,0	66,5
	Надеждинский МЗ	423,9	412,1	36,6	35,7
2	ВМК “Красный Октябрь”	0,4	3,7	0,03	0,32
	“Электросталь”	5,5	21,5	0,47	1,86
	“Ижсталь”	248,7	208,3	21,9	18,3
	Златоустовский МЗ	0,6	0,9	0,05	0,08
	Северский ТЗ	4,1	2,1	0,36	0,18
	Таганрогский МЗ	27,1	0,4	2,32	0,03
	“ОМК-Сталь”	Нет св.	123,8	—	11,1

* Экспертная оценка.

С наибольшей экономией чугуна на 1 т электростали сработали ЧерМК (-48,4 кг/т), ЕВРАЗ ЗСМК (промплощадка № 2) (-25,7 кг/т), «Уральская сталь» (-115,3 кг/т) и «Ижсталь» (-40,4 кг/т), что, в свою очередь, сказалось на снижении энергоемкости электростали на этих предприятиях (рис. 4).

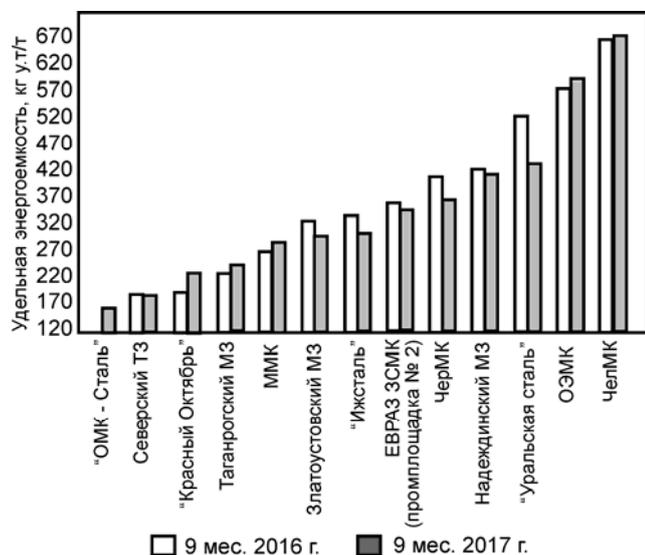


Рис. 4. Удельная энергоемкость электростали

Важнейшим фактором, влияющим на величину энергоемкости электростали, является расход электроэнергии на плавку. Данные об удель-

ном расходе электроэнергии при производстве электростали приведены в табл. 6.

На рис. 4 приведены результаты расчета удельной энергоемкости электростали по предприятиям.

Снижение энергоемкости электростали на Златоустовском МЗ (-30 кг у.т./т) произошло за счет снижения расхода электроэнергии (-91,8 кВт·ч/т).

Самая высокая энергоемкость электростали продолжает оставаться на ОЭМК, что объясняется использованием в шихте металлизированных окатышей. По данным отчета за 9 мес. 2017 г., их доля в шихте составляет 76,2 %.

Удельная энергоемкость 1 т электростали за 9 мес. 2017 г. по отрасли составляет 385,0 кг у.т., что на 30,0 кг у.т. ниже, чем за 9 мес. 2016 г.

При производстве проката среднеотраслевой показатель расхода стали на готовый прокат за 9 мес. 2017 г. по сравнению с аналогичным периодом 2016 г. увеличился на 2,0 кг/т. При этом удельный расход литой заготовки снизился на 0,6 кг/т, слитков увеличился на 5,2 кг/т готового проката (см. табл. 1).

Доля литой заготовки (как на экспорт, так и для внутреннего потребления) в целом по отрасли составила 91,0 %, что на 0,4 % ниже, чем за аналогичный период прошлого года. Данные о доле литой заготовки, заданной в прокат, приведены в табл. 7.

ТАБЛИЦА 6. УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОСТАЛИ, кВт·ч/т

Предприятие	9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.	Изменение
Россия (ЧМ)	433,8	454,0	+20,2
ММК	361,2	349,5	-11,7
ЧерМК	288,2	283,7	-4,5
«Уральская сталь»	242,1	282,6	+40,5
ЕВРАЗ ЗСМК (промплощадка № 2)	420,0	435,3	+15,3
ЧелМК*	224,1	306,5	+82,4
Надеждинский МЗ	293,9	307,4	+13,5
ВМК «Красный Октябрь»	517,4	629,0	+111,6
«Электросталь»	759,8	760,0	+0,2
«Ижсталь»	469,9	487,5	+17,6
Златоустовский МЗ	931,0	839,2	-91,8
ОЭМК	574,3	624,0	+49,7
Северский ТЗ	466,4	453,1	-13,3
Таганрогский МЗ	549,3	628,5	+79,2
«ОМК-Сталь»	Нет св.	419,4	—

* Экспертная оценка.

ТАБЛИЦА 7. ДОЛЯ ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ В СТРУКТУРЕ ЗАДАННОГО В ПРОКАТ, %

Предприятие	9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.
Россия (ЧМ)	91,4	91,0
ММК	100,0	100,0
НЛМК	100,0	100,0
ОЭМК	100,0	100,0
ЧерМК	100,0	100,0
ЕВРАЗ НТМК	100,0	100,0
“Уральская сталь”	100,0	100,0
ЕВРАЗ ЗСМК (промплощадка № 2)	94,0	90,3
ЧелМК*	94,6	94,4
ЕВРАЗ ЗСМК	41,2	34,8

* Экспертная оценка.

Показатели удельного расхода стали на готовый прокат на отдельных предприятиях за рассматриваемые периоды приведены в табл. 8.

ТАБЛИЦА 8. РАСХОД СТАЛИ НА ПРОИЗВОДСТВО ГОТОВОГО ПРОКАТА, кг/т

Предприятие	9 мес. 2016 г.	9 мес. 2017 г.	Изменение
ОЭМК	1044,9	1046,8	+1,9
НЛМК* ¹	1026,9	1023,4	-3,5
ММК	1080,9	1092,5	+11,6
ЕВРАЗ ЗСМК	1087,8	1096,2	+8,4
ЧерМК* ¹	1065,2	1066,3	+1,1
ЕВРАЗ НТМК	1045,0	1054,9	+9,9
ЕВРАЗ ЗСМК (промплощадка № 2)	1093,9	1095,0	+1,1
ЧелМК* ²	1078,7	1085,1	+6,4
“Уральская сталь”	1199,0	1193,5	-5,5

*¹ В связи с внедрением на комбинатах информационно-интегрированной системы SAP ERP удельный расход стали на прокат по комбинатам принят по предыдущим периодам 2015–2016 гг.
*² Экспертная оценка.

Результаты расчета удельной энергоемкости проката по отдельным металлургическим комбинатам приведены на рис. 5.

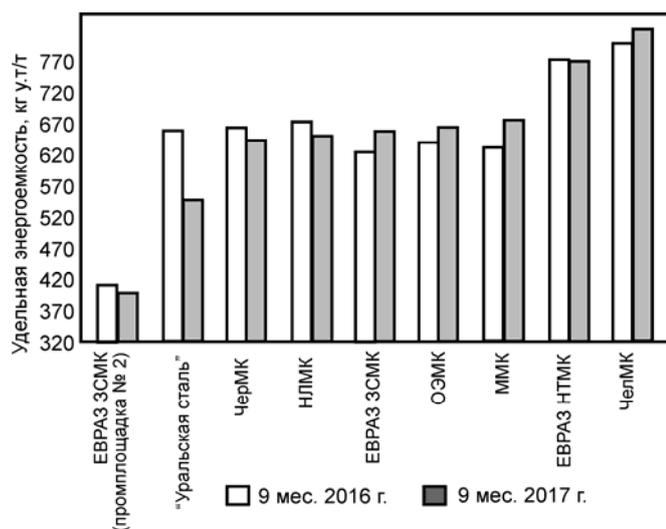


Рис. 5. Удельная энергоемкость проката

Оценивая результаты работы предприятий черной металлургии по удельным затратам энергии (на технологические нужды) за 9 мес.

2016 г. – 9 мес. 2017 г., следует отметить, что по сумме металлургических переделов наибольшее снижение энергозатрат основных материалов на конечную продукцию произошло на “Уральской стали” (–109,0 кг у.т/т), что объясняется сокращением как расхода чугуна, так и его энергоемкости в доменном переделе; на НЛМК (–23,5 кг у.т/т) и ЧерМК (–15,4 кг у.т/т) основная причина — снижение энергоемкости стали за счет уменьшения энергоемкости передельного чугуна. На ЕВРАЗ ЗСМК (промплощадка № 2) снижение энергоемкости 1 т проката на 13,7 кг у.т/т объясняется исключительно сокращением расхода чугуна на 1 т электростали, что уменьшило энергоемкость 1 т стали на 12,9 кг у.т.

На основании вышеприведенных данных об использовании основных материалов в доменном, сталеплавильном и прокатном переделах можно констатировать, что за сравниваемый период в целом по отрасли сэкономлено 170,3 тыс. т скипового кокса и перерасходовано 216,4 тыс. т железорудной шихты. В сталеплавильном производстве сэкономлено 1103,0 тыс. т чугуна и перерасходовано 1227,0 тыс. т стального лома. При производстве проката перерасходовано 92,0 тыс. т слитков и литой заготовки.

“МЕТАЛЛ-ЭКСПО” КАК ДРАЙВЕР И ГЕНЕРАТОР ИДЕЙ РАЗВИТИЯ ИНДУСТРИИ

17 ноября 2017 г. завершила работу 23-я Международная промышленная выставка “Металл-Экспо’2017”, в которой приняли участие 530 компаний из 35 стран мира. Экспозицию выставки, где был представлен широкий спектр производителей и поставщиков черных и цветных металлов, оборудования для металлургии и металлообработки, поставщиков сырья для металлургии и компаний из смежных с металлургией сфер деятельности, посетили около 28,5 тыс. специалистов из 60 стран мира и 320 российских городов.

14–17 ноября Москва стала центром притяжения для российских и зарубежных металлургов, а также потребителей металлопродукции из стройиндустрии, машиностроения, топливно-энергетического комплекса, транспортных и логистических, металлоторговых компаний. Масштабные экспозиции на “Металл-Экспо’2017” развернули ведущие российские металлургические и машиностроительные компании, а также производители металлоконструкций и металлоизделий — ММК, ТМК, “Северсталь”, “Мечел”, ОМК, НЛМК, ЕВРАЗ, “Металлоинвест”, УГМК, ЧТПЗ, МЗ “Электросталь”, ВМК “Красный Октябрь”, Абинский электрометаллургический завод, Промышленно-металлургический холдинг, Мотовилихинские заводы, ТЭМПО, “Русполимет”, Каменск-Уральский металлургический завод, “Алюминий Металлург Рус”, группа ОМЗ, ВСМПО-АВИСМА, ОРМЕТО-ЮУМЗ, ЭЗТМ, “Вебер Комеханикс”, “Ви-Менс”, КАМИ, “Рэлтек”, “Литмашприбор”, “Пумори-северо-запад” и др.

Крупнейшие компании, традиционно участвующие в “Металл-Экспо”, ежегодно расширяют свои стенды, увеличивают число не только профессиональных стендистов, но и руководителей высшего звена, работающих на выставке. Численность делегаций металлургических гигантов достигает 80–90 специалистов. Возглавляют их генеральные директора и директора по сбыту, главные инженеры и руководители служб материально-технического снабжения. На стендах компаний — экспонентов выставки работали свыше 4 тыс. руководителей и специалистов, в том числе генеральный директор ММК П. Шилиев, генеральный директор “Северсталь Менеджмент” А. Шевелев, генеральный директор Белорецкого металлургического комбината В. Камелин, генеральный директор “Русполимета” М. Ключай, генеральный директор группы “Энер-

гопром” В. Нечуятов, генеральный директор “Металлсервис Групп” О. Тюрпенко — целый ряд первых лиц компаний. На площадке форума были подписаны договоры о сотрудничестве между генеральным директором ТМК А. Ширяевым и генеральным директором ЦНИИчермет им. И.П. Бардина В. Семеновым, между коммерческим директором компании “Металлоинвест” Н. Эфендиевым и заместителем генерального директора по закупкам КамАЗа Р. Шамсутдиновым. “Выставка “Металл-Экспо” стала доброй ежегодной традицией для металлургов. И каждый раз формат выставки становится лучше, а участников и интересных дискуссий — больше. Это значит, что отрасль развивается, компаниям есть что продемонстрировать. Это очень радует”, — отметил президент ОМК В. Маркин.

Фактически выставка — ежегодное место для встреч с представителями компаний, непосредственно принимающими решение о покупках и продажах. В выставке приняли участие наряду с российскими свыше 200 зарубежных компаний: ArcelorMittal, SSAB, “Метинвест”, Белорусский металлургический завод, Ansteel, “Днепроспецсталь”, SMS group, Slovenian Steel Group, Ficer, Metalforme, Fagor, Gasparini, MAIR Research, Liebherr, TerexFuchs, LDM, Bronx International, Bradbury, HWS Sinto, Kwintmadi, Dango & Diententhal, Gertner Group, Glama, Vernet Behringer, Danieli, HKM3, Fives, RHI и др.

В рамках форума также состоялась выставка металлопродукции и металлоконструкций для строительной отрасли “МеталлСтрой-Форум’2017”, демонстрация оборудования и технологий для металлургии и металлообработки “МеталлургМаш’2017” и экспозиция транспортных и логистических услуг для предприятий горно-металлургического комплекса “Металл-ТрансЛогистик’2017”.

Насыщенная деловая программа главного металлургического форума включала в себя рекордное число мероприятий — свыше 50, на которых обсуждались актуальные вопросы всех сегментов металлургического бизнеса: применение перспективных материалов и оборудования для черной и цветной металлургии, цинкование, сварочное производство, вторичные ресурсы, стандартизация арматурного проката, рынок изделий из оцинкованного и окрашенного проката, металлоконструкции, метизы, маркетинг, ИТ-решения, корпоративные коммуникации и др. А от-

крыла деловую программу осенней Недели металлов в Москве 20-я юбилейная Международная конференция “Российский рынок металлов”, которая собрала более 140 участников — представителей отраслевых министерств и ведомств, ведущих металлургических компаний страны, руководителей сбытовых сетей, экспертов и аналитиков. По завершении конференции состоялось награждение победителей ежегодных конкурсов “Лучшая металлобаза России'2017”, “Лучший СМЦ России'2017” и “Лучшая сбытовая сеть России'2017”.

В ходе конгресс-части “Металл-Экспо” игроки рынка обсудили основные тенденции российского и мирового рынков стали, подвели предварительные итоги текущего года и представили свое видение перспектив на 2018 г. Минпромторг России провел совещание координационного совета по развитию металлургического комплекса, участие в котором приняли руководители металлургических компаний, отраслевых объединений и институтов. На нем шла речь о проблемах, с которыми сталкиваются в настоящее время предприятия черной и цветной металлургии. Предлагались и возможные пути их решения. Также состоялось заседание рабочей группы Минпромторга России по освоению новых видов и улучшению качества металлопродукции для автомобилестроения.

Помимо официальной деловой программы и индивидуальных встреч ряд компаний (НЛМК, ТМК, “Северсталь-Метиз” и др.) провели конференции и деловые встречи с дилерами и потребителями. Середина ноября — это время, когда уже очевидны результаты года, и именно в этот временной отрезок удобнее всего вести контрактную работу, выстраивать планы сотрудничества на следующий год. А судя по тому, что, по прогнозам большинства участников рынка, в 2018 г. продолжится наметившийся в текущем году рост спроса на сталь на внутреннем рынке (на 5–6 % по итогам года), в будущем году будет над чем поработать.

По данным ассоциации “Русская Сталь”, в 2017 г. наибольшее увеличение спроса на стальную продукцию произошло в производстве машин и оборудования — на 14 % по сравнению с прошлым годом. На 9 % нарастили закупки металла российские автомобилестроители. Но в абсолютных значениях максимальный прирост отмечен в строительстве, на которое приходится более 50 % потребления проката в России: прибавка составила 4 %. Значительного прогресса добились в этом году и российские трубники. По

данным Фонда развития трубной промышленности, спрос на трубы нефтегазового сортамента (ОСТГ) увеличился на 18 % по сравнению с прошлым годом. До 20 % составил рост потребления трубной продукции в машиностроении, примерно на 10 % возросли поставки труб в строительство и ЖКХ. Драйверами роста металлопотребления в 2018 г. могут стать такие проекты, как прокладка высокоскоростной железной дороги Москва – Казань и реализация других программ реконструкции железнодорожного движения, многочисленные программы строительного комплекса, строительство ЦКАД и других автомагистралей и мостов, прочие объекты инфраструктурного строительства.

Ряд компаний презентовали на “Металл-Экспо'2017” инвестиционные проекты. На торжественном приеме по случаю открытия выставки были подведены итоги конкурса “Главное событие 2017 года в металлургии России”, призванного поддержать и максимально популяризировать инновационные проекты в отрасли. Лауреатами признаны следующие проекты:

- проект Магнитогорского металлургического комбината — ввод в эксплуатацию агрегата непрерывного горячего цинкования (АНГЦ-3) тонколистового холоднокатаного проката производственной мощностью 375 тыс. т/год. Инвестиции в объект составили 6 млрд руб.;
- строительство цеха покрытий № 3 на “Северстали” — в комплекс входит агрегат непрерывного горячего цинкования (АНГЦ) мощностью 400 тыс. т/год и агрегат полимерных покрытий металла (АПП) мощностью 200 тыс. т/год. Инвестиции в объект составили 7 млрд руб.;
- строительство сталепроволочного цеха на Абинском электрометаллургическом заводе, где производится качественная проволока (рифленая, оцинкованная, сварная) методом волочения мощностью 65 тыс. т/год. Инвестиции в объект составили 1,2 млрд руб.;
- запуск в эксплуатацию третьего комплекса по производству горячебрикетированного железа (ГБЖ-3) на Лебединском горно-обогательном комбинате УК “Металлоинвест” мощностью 1,8 млн т/год. Инвестиции в объект составили 660 млн долл.

В рамках выставки также состоялись церемонии награждения победителей и призеров специальных конкурсов. Наиболее значимые достижения в сфере производства черных и цветных металлов, современного оборудования и технологий для металлургии и металлообработки были отмечены золотыми и серебряными меда-

лями “Металл-Экспо”. На полях форума прошел слет студентов и аспирантов профильных вузов “Будущее свершается сейчас”, в ходе которого были награждены лауреаты конкурса “Молодые ученые”. Заслуженные награды вручили и победителям конкурса Metal-Vision’2017 на лучшую видеопroduкцию среди металлургических и металлоторговых компаний России и СНГ, конкурса лучших корпоративных СМИ, конкурса “Лучший интернет-проект в металлургии и металлоторговле”. Эти проекты в области корпоративных коммуникаций в эпоху “Индустрии 4.0”, когда наблюдается тотальная диджитализация экономики и промышленности, приобретают все большее значение.

Несмотря на рост популярности интернет-коммуникаций, посещаемость выставки остается высокой. Во второй день ее работы, 15 ноября, зафиксирован абсолютный рекорд: экспозиции посетили 13,6 тыс. руководителей и специалистов. Это свидетельствует о том, что людям необходимо общаться и демонстрировать продукцию вживую, знакомиться с конкурентами и партнерами “глаза в глаза”. Рынок постоянно находится в движении: меняются технологии, сотрудники, продуктовые линейки — специалистам требуется отслеживать конъюнктуру, обмениваться информацией и предложениями, развивать свои навыки и компетенции.

В течение четырех дней работы выставки “Металл-Экспо’2017” на стенде генерального информационного партнера выставки, журнала “Металлоснабжение и сбыт”, осуществлялась онлайн-трансляция встреч в прямом эфире с руководителями и ведущими специалистами металлургических, машиностроительных, металлоторговых компаний, а также с представителями предприятий — потребителей черных и цветных металлов. В деловой видео-студии журнала “Металлоснабжение и сбыт” побывали и дали интервью более 60 топ-менеджеров, среди которых директор по продажам и логистике компании ЕВРАЗ И. Широкоброд, директор по продажам

“Северстали” Е. Черняков, директор по продажам ММК Н. Лядов, генеральный директор Торгового дома НЛМК Р. Обрящиков, начальник управления по сбыту продукции Белорусского металлургического завода А. Ахрамович, финансовый директор Уральского трубного завода А. Михалев, генеральный директор компании “Полема” Д. Мартынов, президент группы компаний Specta Э. Хелин, директор по продажам дивизиона SSAB Europe В. Пикалов, директор по региональному сбыту ТМК О. Маларщиков, заместитель директора по стратегическим взаимодействиям группы ЧТПЗ А. Голодягин, вице-президент по стратегии и коммуникациям Промышленно-металлургического холдинга С. Фролов, заместитель управляющего директора по продажам “Алюминий Металлург Рус” Н. Василенко, управляющий директор компании ТЭМПО Р. Шарифуллин, директор по продажам компании ТЭМПО Ю. Русаков, коммерческий директор Сталепромышленной компании В. Крысанов и другие.

“Металл-Экспо” — знаковое событие для металлургов России и их зарубежных коллег. За четыре дня можно “сканировать” состояние металлургической и смежных отраслей, познакомиться с маркетинговыми стратегиями ведущих игроков. Высокая концентрация контрагентов в одно время в одном месте позволяет эффективно провести переговоры по всем актуальным вопросам и сэкономить массу времени и ресурсов в дальнейшем. Не случайно “Металл-Экспо” часто называют “зеркалом металлургии”, в котором отражаются все тенденции отрасли. Со временем она сама по себе стала драйвером и генератором идей развития индустрии. Большинство экспонентов высоко оценили эффективность участия в форуме и подтвердили свое участие в 24-й выставке “Металл-Экспо’2018”, которая пройдет на ВДНХ 13–16 ноября 2018 г.

До встречи на “Металл-Экспо’2018”!

НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ

*В. М. ЧИЖИКОВА, д-р техн. наук, проф.
(член технической рабочей группы Бюро НДТ № 26
“Производство чугуна, стали и ферросплавов”, главный эколог
ПАО “Новолипецкий металлургический комбинат”)*

Понятие “наилучшие доступные технологии” (или BAT — аббревиатура от англ. Best Available Techniques) пришло из европейских информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (НДТ) в конце 90-х годов прошлого века. За более чем 20-летний период Европейское бюро наилучших доступных технологий разработало 33 информационно-технических справочника по отраслям и общим процессам, часть из которых была также актуализирована, например, справочник по производству чугуна и стали (Best Available Techniques Reference Document for Iron and Steel Production) даже дважды — в 2007 и 2012 г. [1].

Работа по созданию справочников НДТ для металлургической отрасли началась в конце 2016 г. с выходом в свет приказов Росстандарта [2–4], определивших совокупность документов для разработки и их статус, состав технических рабочих групп и секретариата, отвечающих за выпуск документа.

Согласно классификации видов деятельности наилучшие доступные технологии металлургической отрасли охвачены тремя справочниками:

– добыча и обогащение железных руд (ИТС НДТ 25), куда помимо собственно процессов добычи и обогащения включены также производство окисленных окатышей и металлизованного продукта (металлизированных окатышей и горячебрикетированного железа);

– производство чугуна, стали и ферросплавов (ИТС НДТ 26), где представлены также агломерация и производство кокса, производство стали показано в двух различных конфигурациях — в конвертерах и электродуговых печах;

– производство изделий дальнейшего передела черных металлов (ИТС НДТ 27), в котором даны характеристики прокатных переделов: горяче- и холоднокатаный прокат, сортовой, производство длинномерной продукции, различные технологии производства труб.

Помимо сугубо целевых ИТС НДТ 25–27 на металлургическом предприятии имеют место (но не исчерпываются упомянутым в табл. 1) дополнительные и сопутствующие виды деятельности, которые описаны совокупностью ИТС НДТ, представленных в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Вид деятельности	Соответствующий справочник
Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 22–2016 “Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях”
Очистка сточных вод	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 8–2015 “Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях”
	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 10–2015 “Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов”
Хранение и обработка материалов	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 46–2017 “Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)”
Обращение с отходами	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 9–2015 “Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)”
	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 15–2016 “Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов))”
	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 17–2016 “Размещение отходов производства и потребления”
Добыча и обогащение железных руд	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 25–2017 “Добыча и обогащение железных руд”

Вид деятельности	Соответствующий справочник
Производство изделий дальнейшего передела черных металлов	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 27–2017 “Производство изделий дальнейшего передела черных металлов”
Промышленные системы охлаждения	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 20–2016 “Промышленные системы охлаждения”
Производство электрической и тепловой энергии	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 38–2017 “Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии”
Повышение энергетической эффективности	Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 48–2017 “Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности”
* Названия справочников НДТ даны в редакции распоряжения Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р.	

Информационно-технические справочники (ИТС) по наилучшим доступным технологиям имеют статус государственного стандарта (после его утверждения приказом Росстандарта), поэтому и структура, и содержание документа регламентируются соответствующими стандартами.

Структура ИТС установлена стандартом [5] и предусматривает наличие разделов, отражающих состояние отрасли, описание существующих технологических процессов применительно к области применения ИТС, характеристику текущих уровней воздействия на окружающую среду, информацию о принципах выделения и выявления наилучших практик и наилучших технологий; собственно описания наилучших доступных технологий, а также перспективных технологий; тех-

нологические показатели для наилучших доступных технологий, а также информацию по применяемому оборудованию, энергоэффективности в виде приложений.

Требования к содержанию и изложению материала в информационно-техническом справочнике установлены стандартом [6].

Законодательно определено (п. 7 ст. 28.1 [7]), что “информационно-технические справочники по НДТ разрабатываются с учетом имеющихся в Российской Федерации технологий, оборудования, сырья, других ресурсов, а также климатических, экономических и социальных особенностей Российской Федерации. При их разработке могут использоваться международные информационно-технические справочники по НДТ”.

Наилучшая доступная технология, идентификация

“Наилучшая доступная технология — технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения” (ст. 1 [7]).

Таким образом, существенными признаками НДТ являются: наличие продуктивного выхода (производство продукции) и сопряженность эффективных технических решений с минимальным, предпочтительно совокупным (в отношении всех компонентов окружающей среды) воздействием.

Наилучшая доступная технология согласно положениям (п. 4 ст. 28.1 [7]) должна удовлетворять совокупности критериев:

1. Наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги.

2. Экономическая эффективность ее внедрения и эксплуатации.

3. Применение ресурсо- и энергосберегающих методов.

4. Период ее внедрения.

5. Промышленное внедрение этой технологии на двух и более объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

В ИТС НДТ 26 были введены некоторые специфические признаки, обусловленные особенностями структуры металлургической отрасли и ее существенным техническим перевооружением в последние два десятилетия:

– в качестве НДТ рекомендованы существующие технологии, если они в полной мере отвечают критериям 1–3, 5, исключив таким образом критерий 4;

– при соответствии критериям 1–4 технология рекомендована как НДТ при ее внедрении на одном предприятии, если она является эксклюзивной (современной даже по европейским критериям), как например, технология рециркуляции отходящих агломерационных газов, или приме-

нение для загрузки доменных печей бесконусного роторного загрузочного устройства, или работа электросталеплавильных печей на металлизированных окатышах;

– при соответствии критериям 1–4 отнесение технологии к НДТ имело место в случаях, если технология внедрена на одном предприятии, но на нескольких агрегатах (технология очистки агломерационных газов от сернистых соединений);

– при соответствии критериям 1–4 технология рекомендована как лучшая практика, если она создана на базе устаревшей технологии в ее развитие на современном уровне (двухванный сталеплавильный агрегат).

В соответствии с принятой классификацией наилучших доступных технологий при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях выделены следующие группы технических решений в рамках основных технологий производства продукции (металлургических переделов):

– технические решения, интегрированные в производственный процесс и направленные на повышение технических, ресурсных, энергетических показателей процесса, сопровождаемые сокращением выбросов вредных (загрязняющих) веществ или образования отходов;

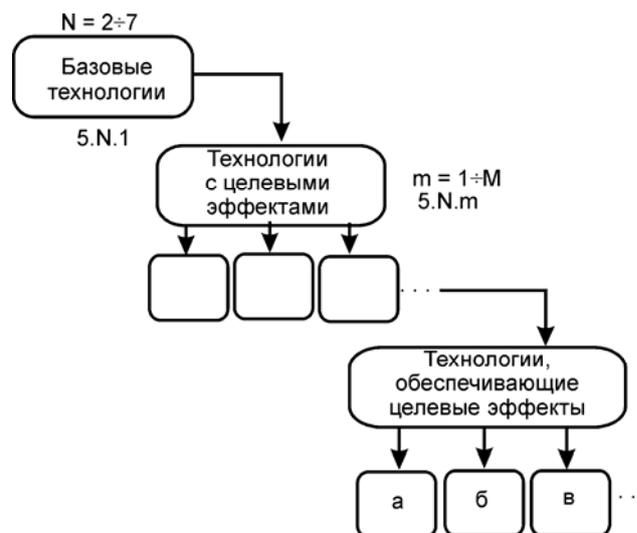
– технические решения, связанные с очисткой выбросов загрязняющих веществ локально в местах их выделения и направленные на максимально возможное извлечение из отходящих газов загрязняющих веществ и их последующее использование, либо с утилизацией отходов, а также с обработкой сточных вод.

Применительно к производствам чугуна, стали и ферросплавов с учетом базовых признаков НДТ для технических решений, идентифицированных как наилучшие доступные технологии, применены именно такие подходы.

Принимая во внимание многообразие и многоплановость технических решений по повышению показателей ресурсной и эколого-энергетической эффективности процессов в металлургии и ориентируясь на последующее применение наилучших доступных технологий и их характеристик для целей технологического нормирования, для идентификации и описания НДТ в ИТС НДТ 26 предложен каскадный формат (см. рисунок).

В ИТС НДТ 26 приняты шесть базовых технологий (N изменяется от 2 до 7, номер 1 присвоен технологиям общего назначения, например, системы экологического и энергетического менеджмента, см. рисунок). Отнесение НДТ к соответ-

ствующей базовой технологии определяется нумерацией согласно позиции в ИТС НДТ (2 — агломерация; 3 — производство кокса; 4 — производство чугуна; 5 — производство стали в конвертерах; 6 — производство стали в электропечах; 7 — производство ферросплавов); при этом каждому номеру базовой технологии предпослан номер 5 (ввиду того, что описание наилучших доступных технологий представлено в разделе 5 ИТС НДТ 26 [8]). Таким образом, формат шифра базовой технологии отражен в виде $5.N(2\div 7).1$.



Каскадный формат описания наилучшей доступной технологии

Для технологий с целевыми эффектами шифр формируется исходя из отнесения к базовой технологии с последующим порядковым номером собственно технологии ($m = 1\div M$); далее для каждой m -й технологии указывается ее содержание (описание) в виде перечня а, б, в... (см. рисунок).

Ниже приведены примеры описания конкретных НДТ.

Пример 1. Агломерация.

НДТ 5.2.1. Технология производства агломерата методом спекания на конвейерных машинах различной площади за счет фильтрации воздуха, обеспечивающего горение твердого топлива, распределенного в слое, с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, технологических приемов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.2.2 – НДТ 5.2.7.

НДТ 5.2.5. Повышение эффективности использования энергии путем использования одного или комбинации из двух и более методов, приведенных в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. ОПИСАНИЕ НДТ 5.2.5

	Метод/оборудование	Примечание
а	Минимизация расхода твердого топлива на процесс спекания	
б	Рециркуляция отходящих газов от агломашин при спекании	При реконструкции или новом строительстве
в	Устранение вредных подсосов воздуха на агломашинах, в том числе торцевых, боковых, а также в неплотностях сборного коллектора отходящих газов	
г	Теплоизоляция объектов или элементов оборудования, функционирующих при высоких температурах, например, элементов газоотводящего тракта агломашин	

Пример 2. Производство ферросплавов.

НДТ 5.7.1. Производство ферросплавов углетермическим методом в руднотермических печах.

Совершенствование технологии производства ферросплавов в руднотермических печах позво-

ляет сократить расходы электроэнергии и сырьевых материалов, снизить себестоимость производства, снизить эмиссии и образование отходов, для чего используются методы, приведенные в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. ОПИСАНИЕ НДТ 5.7.1.

№	Метод/оборудование	Примечание
1	Применение полива углеродистых и пылящих шихтовых материалов в складе шихты в летний период	Актуально для складов шихтовых материалов закрытого типа
2	Применение аспирационных установок на базе рукавных фильтров для подготовки шихтовых материалов, транспортировки, дозировки, загрузки шихты в печь, дробления и фракционирования ферросплава	Требует наличия сжатого воздуха на предприятии или применения локальных установок сжатого воздуха
3	Применение полузакрытых руднотермических печей	Низкие потери электроэнергии с индукционным нагревом сводов. Высокий уровень сбора печных газов. Высокая стойкость оборудования. Ограничено планировкой существующих цехов
4	Применение окускованного (агломерированного) сырья	Снижение выбросов пыли на 10–20 %
5	Применение каменных углей в качестве заменителя кокса для плавки ферросплава в руднотермических печах	Снижение себестоимости на 5–7 %
6	Применение АСУТП руднотермических печей на базе микропроцессорной техники	Применение возможно для всех типов руднотермических печей
7	Применение угольной футеровки ковшей для разлива кремнистых сплавов	Стойкость ковшей увеличивается до 3 раз
8	Применение разливочных машин	При технической возможности
9	Применение полигонной разливки	При технической возможности
10	Переработка марганцовистых и хромистых шлаков в водной среде	При технической возможности
11	Применение сухих тканевых газоочисток	Ограничение по наличию площадей для размещения сухих газоочисток на площадке предприятия

Наилучшая доступная технология, технологические показатели

Квинтэссенцией ИТС НДТ является выборка (таблица) технологических показателей наилучших доступных технологий, которые затем в рамках нового механизма регулирования природоохранной деятельности (технологического нормирования) будут применены для разработки технологических нормативов предприятий.

“Технологические показатели — показатели концентрации загрязняющих веществ, объема и (или) массы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, образования отходов производства и

потребления, потребления воды и использования энергетических ресурсов в расчете на единицу времени или единицу производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги” (ст. 1 [7]).

При совокупности технологических операций и технологических участков в составе конкретной технологии в металлургических переделах (множество источников воздействия на окружающую среду), а также сопоставления подобных технологий различных предприятий наиболее прием-

лем удельный показатель выбросов, рассчитанный как отношение нормативно разрешенного годового объема (массы выбросов) конкретной технологии к годовому объему продукции, произведенной в данной технологии (агломерату, коксу, чугуну, стали, ферросплавам). Именно такой показатель выбран в качестве технологического показателя в ИТС НДТ 26.

Подобный подход обусловлен требованиями законодательного регулирования по установлению технологических нормативов в комплексном экологическом разрешении, но в определенной степени противоречит европейскому опыту, где наилучшие практики характеризуются удельными показателями воздействия, а наилучшие доступные технологии — концентрациями на приоритетных источниках (дымовых трубах) ограниченного числа загрязняющих веществ.

Качественная характеристика технологического показателя для ИТС НДТ 26 представлена совокупностью приоритетных загрязняющих веществ, отражающей наибольший валовый объем

воздействия: диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, диоксид серы, пыль (общая).

Технологические показатели ИТС НДТ 26 разрабатывались технической рабочей группой на основе детального бенчмаркинга отрасли в отношении результативности природоохранной деятельности (уровня разрешенного воздействия на окружающую среду, потребления ресурсов, мероприятий по снижению воздействия и повышению энергоэффективности, применяемого природоохранного и технологического оборудования и т. д.). Информация предоставлялась предприятиями отрасли в добровольном порядке на основе анкетирования.

Установленные уровни показателей сформированы как результат статистического анализа показателей, сырьевых и технологических особенностей предприятий, реализации программ модернизации. В некоторых случаях установлены индивидуальные (для конкретных условий) технологические показатели для НДТ. Примеры технологических показателей представлены в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИТС НДТ 26

Передел	Шифр НДТ	Наименование НДТ	Показатель НДТ, кг/т продукции
Производство чугуна	НДТ 5.4.1	Технология производства чугуна в доменных печах различного объема, работающих на комбинированном дутье, с использованием металлургического кокса и применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, технологических приемов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.4.2 – НДТ 5.4.6	
		Диоксид азота	≤0,3
		Оксид азота	≤0,02
		Оксид углерода	≤5,0
		Диоксид серы	≤0,2
		Пыль общая	≤0,5
Производство стали в конвертерах	НДТ 5.5.1	Технология производства стали в конвертерах методом продувки расплава чугуна техническим кислородом и наведением покровного шлака с целью удаления из расплава углерода и вредных примесей с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающая технологии НДТ 5.5.2 – НДТ 5.5.6	
		Диоксид азота	≤0,2
		Оксид азота	≤0,05
		Оксид углерода	≤5,0
		Диоксид серы	≤0,05
		Пыль общая	≤0,5

Наилучшая доступная технология, маркерное вещество

Законодательно понятие “маркерное вещество” введено в п. 5 ст. 67 [9] в положении о производственном экологическом контроле (и оно не лежит строго в контексте НДТ):

“При осуществлении производственного экологического контроля измерения выбросов, сбросов загрязняющих веществ в обязательном порядке производятся в отношении загрязняющих веществ, характеризующих применяемые технологии и особенности производственного процесса на объекте, оказывающем негативное воздействие на окружающую среду (маркерные вещества)”.

Образование и эмиссия загрязняющих веществ в окружающую среду в технологических процессах черной металлургии, представленных производствами агломерата, кокса, чугуна, стали и ферросплавов, определяются конкретными физико-химическими взаимодействиями в ходе образования продукции, видом теплоносителя, уровнем температур взаимодействия, составом газовой фазы (существуют и окислительные, и восстановительные процессы), сырьевыми условиями. Отметим, что все названные технологии являются пирометаллургическими, т. е. протекают при высоких (>1000 °С) температурах, и требуют релевантных энергозатрат.

Образование загрязняющих веществ в металлургических технологиях обусловлено несколькими масштабными факторами:

– обращением значительных объемов сыпучих материалов (т. е. образованием и выделением в результате пылеуноса крупнодисперсных взвешенных веществ);

– пирометаллургическими технологиями с образованием возгонов (т. е. выделением дисперсных взвешенных веществ);

– производством тепла для потребностей процессов (сжигание газообразного, жидкого и твердого топлив);

– технологическим выходом с образованием различных газовых компонентов (окисление соединений серы, возгонов металлофазы, пиролиз каменных углей);

– обезвреживанием горючих газов (сжигание на свечах).

Именно природа процессов определяет совокупность (группу) загрязняющих веществ: в продуктах горения — диоксид и оксид азота, оксид углерода, диоксид серы, сажа, бенз(а)пирен; в технологических переделах черной металлургии — оксиды азота, диоксид серы, сероводород, пыль с характеристикой содержания оксида кремния, водород цианистый, фенол(ы), формальдегид, метан.

Выбор маркерных веществ из совокупности (множества) загрязняющих веществ в выбросах промышленных технологий осуществлялся на основе признаков и подходов, изложенных в работе [10], а примеры маркерных веществ в отдельных технологических процессах даны в табл. 5.

ТАБЛИЦА 5. ПЕРЕЧЕНЬ МАРКЕРНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕРЕДЕЛОВ

№ п/п*	Наименование технологии	Маркерное вещество
2.2	Производство кокса: отопление коксовых батарей; системы аспирации (вагонопрокидыватели, углеподготовка, УБВК, коксосортировка)	СО Пыль
2.5	Производство стали в электропечах	Пыль, СО
2.6	Производство ферросплавов: углетермический силикотермический алюмотермический алюмотермический (внепечной)	Пыль, СО Пыль, NO _x Пыль, NO _x Пыль, SO ₂

* Нумерация соответствует позициям в разделе 2 ИТС НДТ 26 [8].

Проблемы формирования и применения технологических показателей

К настоящему моменту завершена разработка ИТС НДТ 26 и его окончательная версия проходит стадию голосования членами технической рабочей группы.

ИТС НДТ является отправной (базовой) позицией во вновь вводимой с 2019 г. системе технологического нормирования, но целый ряд недос-

тающих регламентных документов существенно осложняет как работу по созданию ИТС, так и ситуацию их дальнейшего применения.

1. Отсутствие представлений о правилах разработки технологических нормативов (должны быть подготовлены уполномоченным федеральным органом исполнительной власти согласно

п. 4 ст. 23 [7]) вызвало затруднения при составлении вопросов анкеты и особенно при формировании технологических показателей (размерность, дискретность, сопряженность с целями производственного экологического контроля и т. д.).

2. Из-за недоработанности нормативных документов существо технологического нормирования, возможно, понимается неоднозначно. Поскольку технологические показатели сформированы из сведений о состоянии отрасли и уровне ее технического развития, они призваны отразить технически достижимые воздействия (а не некие фантазийные уровни).

Следует также понимать, что задачей технологического нормирования не может быть установление абсолютного уровня (верхнего пре-

дела, зачастую формально назначаемого), который должен быть достигнут всеми предприятиями отрасли, но — последовательный процесс изменения структуры отрасли с исключением устаревших производств и технологий (их закрытием или модернизацией).

3. Законодательно предусматривается (п. 3 ст. 23 [7]), что “технологические показатели наилучших доступных технологий устанавливаются нормативными документами в области охраны окружающей среды не позднее шести месяцев после опубликования или актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям”, но никаких проектов подобных документов, а главное требований к ним, пока не возникло.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Best Available Techniques Reference Document for Iron and Steel Production, EU, 2012.
2. Приказ Росстандарта “О создании технической рабочей группы “Добыча и обогащение железных руд” № 2061 от 30.12.2016 г.
3. Приказ Росстандарта “О создании технической рабочей группы “Производство чугуна, стали и ферросплавов” № 2062 от 30.12.2016 г.
4. Приказ Росстандарта “О создании технической рабочей группы “Производство изделий дальнейшего передела черных металлов” № 2059 от 30.12.2016 г.
5. ГОСТ Р 56828.14–2016. Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника.
6. ГОСТ Р 56828.13–2016. Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий.
7. Федеральный закон № 219-ФЗ “О внесении изменений в федеральный закон “Об охране окружающей среды и отдельные законодательные акты Российской Федерации”, 21.07.2014 г.
8. ИТС НДТ 26–2017. “Производство чугуна, стали и ферросплавов” [Электронный ресурс] // URL: <http://www.burondt.ru/NDT/PublicDiscussionDetail>.
9. Федеральный закон № 7-ФЗ “Об охране окружающей среды”, 10.01.2002 г.
10. Чижикова, В. М. Выбор маркерных веществ для технологических процессов производства чугуна, стали и ферросплавов [Текст] / В. М. Чижикова, О. С. Ежова // Наилучшие доступные технологии. Определение маркерных веществ в различных отраслях промышленности: сборник статей. — 2017. — № 8.

УДК 624.4

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВОЙ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ КАРЬЕРОВ

*С. П. ЕРОНЬКО¹, д-р техн. наук, проф., ersp@meta.ua; М. Ю. ТКАЧЕВ¹, канд. техн. наук;
Е. Н. СМИРНОВ², д-р техн. наук, проф.; В. А. СКЛЯР², канд. техн. наук; А. В. САЗОНОВ², канд. техн. наук
(¹ ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”,
² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”)*

По данным исследователей, до 80 % полезных ископаемых в настоящее время добывается открытым способом в карьерах, глубина которых достигает 500–700 м и более [1, 2]. При этом около 50 % годового времени работу в таких карьерах проводят в условиях нарушения воздухообмена с окружающей средой и накопления вредных примесей в образующихся застойных зонах, что в конечном счете является причиной простоя оборудования из-за невозможности нахождения обслуживающего персонала в местах с предельно допустимой концентрацией опасных веществ [3, 4].

Для поддержания требуемого ритма функционирования карьеров и надлежащих условий работы технического персонала необходимы специальные аэрационные установки, реализующие различные способы вентиляции глубоких рукотворных впадин [5–8]. Несмотря на наличие в технической литературе значительного объема информации о существующих вентиляторных системах, основанных на использовании в них самолетных винтомоторных и реактивных силовых установок, смонтированных на базе колесных или гусеничных тягачей, лишь несколько из них нашли практическое применение. Данное обстоятельство объясняется тем, что большинство известных агрегатов характеризуется высоким потреблением топлива или электроэнергии, значительными эксплуатационными затратами, а также низкими показателями работы. Поэтому задача создания новой вентиляторной установки, лишенной отмеченных недостатков, имеет важное научно-практическое значение. Для ее успешного решения необходим учет достоинств и недостатков наилучших существующих образцов оборудования данного класса.

В итоге анализа результатов литературного обзора и патентного поиска в качестве аналогов для вновь создаваемой вентиляторной установки были отобраны две модификации систем

вентиляции карьеров, выпущенных в России на базе шасси автомобиля БелАЗ. В первой из них направленный газоздушный поток создают с помощью пропеллера, размещенного на специальном кронштейне впереди кабины тягача и вращаемого его двигателем через систему зубчатых передач и карданный вал [9]. Недостатком данной установки является то, что с ее помощью можно формировать газоздушный поток только вдоль оси, параллельной поверхности, на которой в карьере расположено транспортное средство. Это в значительной мере ограничивает объем проветриваемой зоны карьера и для ее увеличения требует последовательного изменения положения транспортного средства путем его маневрирования в стесненных условиях.

С целью расширения зоны проветриваемого пространства карьера у второй установки силовой агрегат в виде турбовинтового авиационного двигателя размещен на поворотной платформе, смонтированной за кабиной на раме автомобиля [10]. Наличие у данной установки поворотной горизонтальной платформы позволяет без маневрирования ходовой частью осуществлять изменение направления сформированного газоздушного потока по кругу в горизонтальной плоскости выше уровня платформы. Однако при ее использовании возникает так называемая мертвая зона пространства карьера, прилегающая к его донной поверхности. Кроме того, обеспечиваемая с ее помощью вентиляция предполагает перемещение газоздушных масс только внутри карьера, и поэтому не позволяет удалять их за его пределы.

Устранение отмеченных недостатков, присущих рассмотренным аналогам, потребовало принятия новых технических решений, позволяющих расширить функциональные возможности вентиляторных систем, обеспечивающих циркуляцию в пространстве газоздушных потоков. В связи с этим авторами предложено ис-

пользовать для этих целей новый тип вентилятора, конструкция которого защищена патентом Российской Федерации [11]. На рис. 1 схематично представлена установка для проветривания карьеров, работу которой обеспечивает так называемый безлопастной вентилятор.

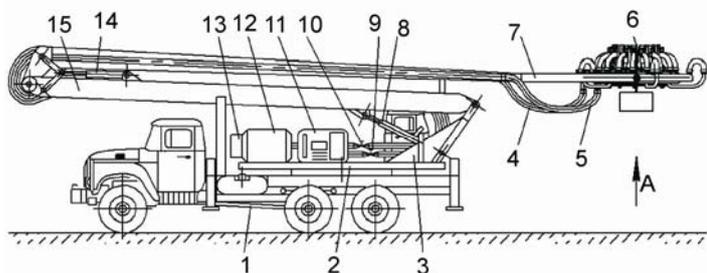


Рис. 1. Общий вид разработанной вентиляторной установки

Установка содержит ходовую часть 1 на базе трехосного грузового автомобиля, на раме которого смонтирована поворотная горизонтальная платформа 2 с жестко закрепленными на ней основанием 3 плоского трехзвенного рычажного механизма и воздушным компрессором 11 для подачи по гибким трубопроводам 4 и 5 сжатого воздуха к системе возбуждения и формирования газоздушного потока, выполненной в виде горизонтально расположенного безлопастного вентилятора 6. Данный вентилятор шарнирно связан с конечным звеном 7 рычажного механизма, несущая балка 15 которого с возможностью поворота в вертикальной плоскости одним концом соединена с основанием 3. Относительное перемещение в пространстве балки 15 и звена 7 обеспечивается силовыми гидроцилиндрами 8 и 14. Компрессор 11 и маслонасос 13, обеспечивающий работу гидроцилиндров, приводятся в действие двигателем внутреннего сгорания 12. Вентили 9 и 10 служат для регулирования расхода воздуха, поступающего к элементам безлопастного вентилятора 6.

Безлопастной вентилятор (рис. 2) включает горловину, образованную полыми сегментами 12 с щелевыми соплами и наружной поверхностью Коанда, закрепленными посредством дисков 10 к круглым фланцам 9 несущего кольца 13 с возможностью относительного фиксированного поворота в радиальной плоскости и сообщающимися посредством гибких рукавов 11 с полостью 1-й торообразной газораспределительной камеры 7, которая размещена концентрически относительно несущего кольца 13 и снабжена под-

водящим патрубком, соединенным с одним из гибких трубопроводов.

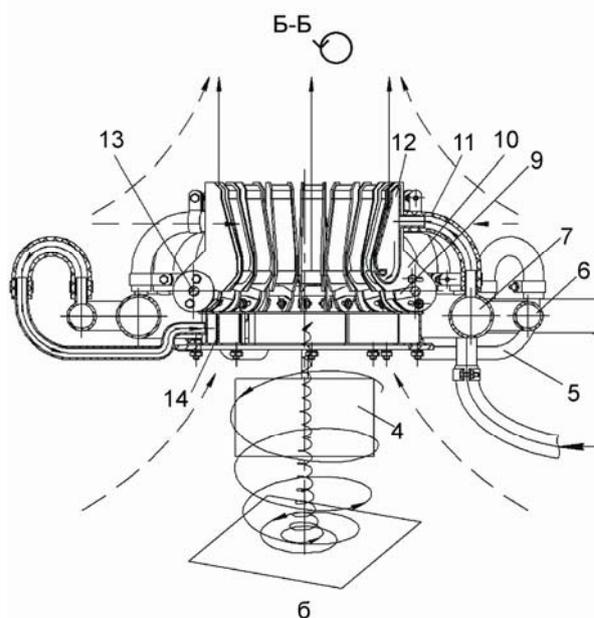
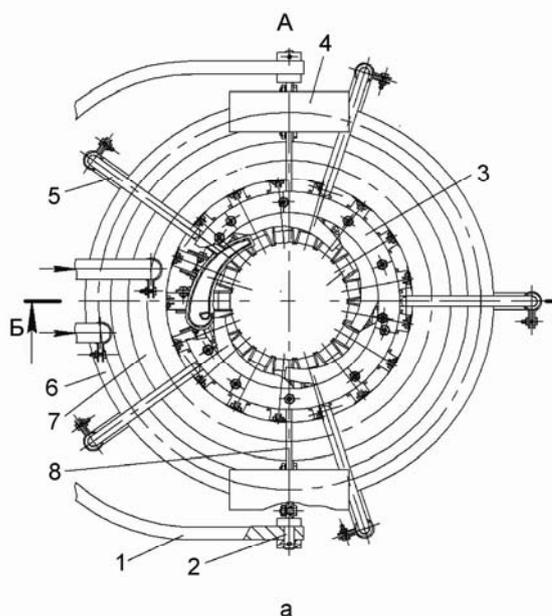


Рис. 2. Вид безлопастного вентилятора снизу (а) и его продольный разрез (б)

На входе горловины, образованной полыми сегментами 12, размещен завихритель потока, включающий полые сегменты 14 (см. рис. 2, б) с щелевыми соплами и внутренней поверхностью Коанда, закрепленные последовательно по окружности на несущей скобе 3 в плоскости, перпендикулярной продольной оси горловины. При этом полости сегментов 14 посредством трубопроводов 5 сообщаются с полостью 2-й торообразной газораспределительной камеры 6,

имеющей подводный патрубок, соединенный с другим гибким трубопроводом. Корпуса торообразных газораспределительных камер 6 и 7 жестко закреплены на кронштейнах 8, которые с помощью цапф 2 шарнирно связаны с конечным звеном 1 плоского рычажного механизма. К кронштейнам 8 жестко прикреплены балансировочные грузы 4, удерживающие безлопастной вентилятор в горизонтальном положении относительно конечного звена 1 плоского рычажного механизма.

Установка работает следующим образом. Для осуществления вентиляции карьера ее доставляют в загазованную зону. При необходимости предварительно выверяют базу автомобиля в горизонтальной плоскости, после чего запускают размещенные на поворотной платформе компрессор и связанную с его приводом маслостанцию. Вращая платформу в нужном направлении, а также перемещая в вертикальной плоскости с помощью гидроцилиндров звенья плоского рычажного механизма, основание которого жестко закреплено на платформе, безлопастной вентилятор помещают в досягаемую зону загазованного пространства (рис. 3). Благодаря балансировочным грузам, жестко прикрепленным к кронштейнам, безлопастной вентилятор поворачивается на цапфах относительно конечного звена плоского рычажного механизма и постоянно находится в горизонтальном положении. В момент достижения в ресивере компрессора требуемого давления воздуха вентили открывают. Сжатый воздух по гибким трубопроводам через подводные патрубки поступает в полости торообразных газораспределительных камер. Далее сжатый воздух из 1-й торообразной газораспределительной камеры по гибким рукавам попадает внутрь полых сегментов, образующих горловину безлопастного вентилятора. Одновременно с этим сжатый воздух из 2-й торообразной газораспределительной камеры по трубопроводам направляется в полые сегменты. Воздух, истекающий с большой скоростью из щелевых сопел полых сегментов, возбуждает первичные газовые потоки, направленные по поверхностям Коанда, которые создают зону пониженного давления, благодаря чему воздушные массы, находящиеся под горловиной, всасываются в нее и выбрасываются вверх по направлению потока. В свою очередь, воздух, истекающий из щелевых сопел, закрепленных последовательно по окружности на несущей скобе полых сегментов, огибает их внутренние поверхности Коанда и закручивает движущийся через горло-

вину поток, возбуждая эффект торнадо, способствующий усилению притока к безлопастному вентилятору газовоздушных масс из окружающего пространства. При этом, регулируя вентилями соотношение расходов сжатого воздуха, подаваемого от компрессора к полым сегментам горловины и к полым сегментам завихрителя безлопастного вентилятора, добиваются максимально возможной его производительности.

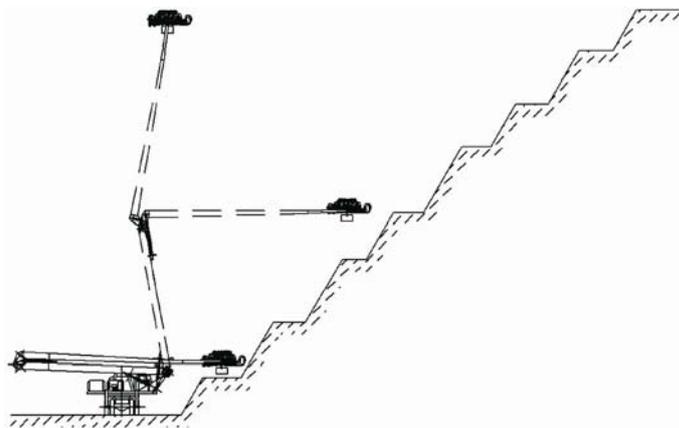


Рис. 3. Относительное положение элементов конструкции установки в рабочем положении (гибкие трубопроводы условно не показаны)

С целью проверки правильности и предварительной оценки эффективности новых технических решений, заложенных в конструкцию предлагаемой вентиляторной установки, спроектировали и изготовили в масштабе 1:5 ее действующую модель (рис. 4).



Рис. 4. Физическая модель новой вентиляторной системы проветривания карьеров

В ходе модельных исследований в качестве оценочных критериев приняли расходные и скоростные характеристики газовых потоков, возбуждаемых с помощью безлопастного вентилятора. Лабораторные эксперименты проводили в три этапа. Вначале по методике, подробно освещенной в работе [12], получили информацию о достигаемых значениях коэффициента умножающего эффекта, под которым в специальной литературе считают отношение объемного расхода газовой смеси на выходе из горловины вентилятора к объему воздуха, подаваемого в единицу времени в его полые сегменты. Для этого использовали плоскую прозрачную модель, включавшую два полых сегмента вентилятора с конструктивными параметрами (рис. 5): $\alpha = 15$ град., $\beta = 25$ град., $\gamma = 45$ град., $\delta = 0,7$ мм, $B = 50$ мм, $d = 85-205$ мм. В полости сегментов под избыточным давлением в пределах 50–150 кПа компрессором с заданным расходом, контролируемым с помощью ротаметра, подавали воздух, и с применением специального зонда измеряли скорость формировавшегося на выходе из горловины модели вентиляторной системы газозвдушного потока. Его визуализацию на темном фоне обеспечивали светлым дымом, поступающим из генератора, расположенного ниже модели. Измерительный зонд включал тензорезисторный преобразователь — упругую пластину с наклеенными фольговыми датчиками, консольно закрепленную одним своим концом в цилиндрическом стеклянном баллончике, а вторым концом связанную с рычагом, несущим приемный элемент в виде диска диам. 10 мм. Зонд позволял преобразовать значение динамического давления, действующего на его приемный диск со стороны газозвдушного потока, в аналоговый сигнал, пропорциональный плотности и скорости во второй степени движущейся среды. Для обеспечения контроля в режиме реального времени записи регистрируемого сигнала и последующего анализа его формы и значения в измерительную систему входили также усилитель переменного тока, аналого-цифровой преобразователь и ЭВМ с печатающим устройством. По результатам измерений, погрешность которых, по данным статистической обработки, не превышала 5 %, были построены поля скоростей (v , м/с), зафиксированных в поперечных сечениях газозвдушных потоков на различном удалении (H , мм) от горловины плоской модели исследуемого вентилятора (рис. 6) и дающих возможность рассчитать осредненные значения обеспечиваемых ею объемных расходов. Отношение этих значений и соответствующих им показаний ротаметра о расходе рабочей газовой смеси, подававшейся в полые сегменты модели вентилятора, позволили определить достигаемый ею коэффициент умножающего эффекта

(табл. 1). Значение данного коэффициента в значительной мере зависит от давления воздуха, поступающего в полости сегментов с поверхностью Коанда.

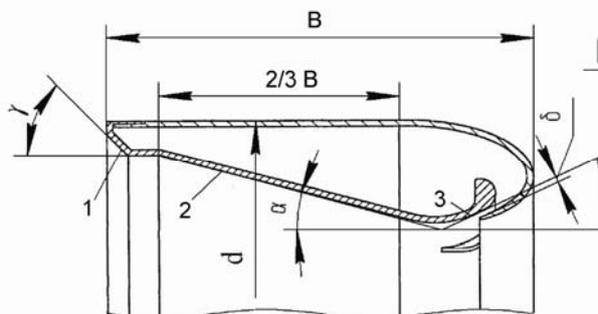


Рис. 5. Основные геометрические параметры профиля сегмента модели вентилятора:
1 — скошенная поверхность; 2 — диффузор;
3 — поверхность Коанда

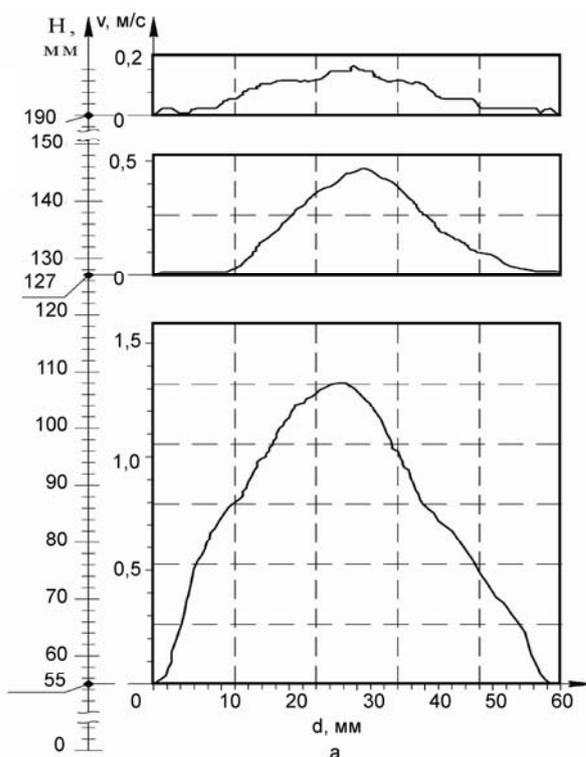


Рис. 6. Поля скоростей газозвдушного потока на различном удалении от выхода горловины плоской модели вентиляторной системы (а) и его визуализированная картина в зоне формирования (б) при давлении 50 кПа и объемном расходе энергоносителя 8 л/мин

ТАБЛИЦА 1. СКОРОСТНЫЕ И РАСХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ ПЛОСКОЙ МОДЕЛИ БЕЗЛОПАСТНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Значение параметров работы модели вентилятора		Осредненная скорость потока эвакуируемой газовой смеси, м/с	Объемная производительность модели вентилятора, л/мин	Значение коэффициента умножающего эффекта вентилятора
давление воздуха, кПа	расход воздуха, л/мин			
50	8	0,8	28,8	3,6
	10	1,1	39,6	3,9
	12	1,3	46,8	3,9
100	8	1,4	50,4	6,3
	10	1,8	64,8	6,5
	12	2,2	79,2	6,6
150	8	2,3	82,8	10,4
	10	2,9	104,4	10,4
	12	3,5	126,0	10,5

На втором этапе экспериментальных исследований проводили стендовое испытание опытного образца безлопастного вентилятора, изготовленного с учетом рациональных значений его конструктивных параметров, проверенных на плоской физической модели. Во время тестирования работы новой вентиляторной системы с использованием скоростной видеосъемки осуществили фиксацию картин развития газодинамических процессов, протекающих в зоне размещения безлопастного вентилятора, находящегося на различном удалении от источника дыма. Для этого вентилятор предварительно закрепляли на трех вертикальных стойках над раздвоенным щелевым соплом, формирующим расходящиеся под заданным углом два направленных потока дыма. Дым поступал от специального генератора, включавшего заполненную тлеющими древесными опилками металлическую гильзу и дымосос радиального типа. Угол отклонения от вертикали потоков дыма, истекавших из щелевых сопел, был подобран с учетом геометрических параметров вентилятора с таким расчетом, чтобы дымовые струи не имели прямого попадания в его горловину. Благодаря этому моделировались неблагоприятные начальные условия работы вентиляторной системы (рис. 7, а, фото слева). После запуска вентилятора отрабатывали различные режимы его функционирования, предусматривающие эвакуацию дыма при отключенном завихрителе потоков (см. рис. 7, а, среднее фото) и его задействовании (см. рис. 7, а, правое фото).

Анализ просмотренных в динамике и в режиме «стоп-кадр» видеозаписей, полученных для всего диапазона изменения удаленности вентилятора от источника дыма (раздвоенного щелевого сопла), свидетельствует о том, что максимальная эффективность функционирования системы безлопастного вентилятора обеспечивается в случае одновременной работы ее узлов возбуждения и завихрения газоздушных потоков при определенном соотношении объемов воздуха, подаваемых в единицу времени в по-

лости элементов, образующих указанные узлы. В частности, для тестируемого безлопастного вентилятора соотношение объемных расходов воздуха, подаваемого к узлам возбуждения и завихрения газовых (дымовых) потоков, составляло 3:2. При данном соотношении зафиксированы максимальные значения параметров, характеризующих эффективность работы вентилятора. Например, коэффициент умножающего эффекта составил 10,5, а максимальная высота, на которую выталкивается дым, достигала 3 м.

На третьем этапе модельных исследований новой вентиляторной системы провели серию экспериментов с целью подтверждения возможности эвакуации с ее помощью холодного дыма, стекающего тонким ровным слоем по горизонтальной поверхности, имитирующей донную часть карьера. В этом случае к щелевому соплу, размещенному на стальной плите, дым от генератора поступал по удлиненному трубопроводу, в результате чего его температура снижалась, и он расстилался по плите ровным слоем, толщина которого не превышала 10 мм. После формирования слоя холодного дыма в зону его расположения с помощью рычажного механизма (см. рис. 4) подавался безлопастной вентилятор, занимавший горизонтальное положение на некоторой высоте над поверхностью металлической плиты. Затем к рабочим узлам вентилятора от компрессора, размещенного на поворотной платформе рядом с основанием рычажного механизма, по гибким трубопроводам с соответствующими расходами под избыточным давлением поступал воздух. При его истечении из щелевых сопел полых сегментов, входящих в состав узлов возбуждения и завихрения потоков эвакуируемой газовой смеси, непосредственно под вентилятором наблюдалось зарождение и последующее развитие вихря (см. рис. 7, б), засасывающего по восходящей спирали дым в его горловину, выбрасываемый из нее с большой скоростью на высоту нескольких метров. Следует отметить то обстоятельство, что устойчивое существование зарождавшихся вихрей обеспечива-

лось при определенном удалении вентилятора от поверхности плиты, имитирующей дно карьера (табл. 2). В случае дальнейшего увеличения высоты расположения вентилятора наблюдались периодические срывы спиралеобразных потоков дыма. Это свидетельствовало о том, что при данных значениях давления и расхода воздуха, поступавшего в полые сегменты рабочих узлов вентилятора, развиваемая им мощность была недостаточной для возникновения эффекта торнадо. Поэтому высокая эффективность функционирования безлопастного вентилятора

может быть обеспечена при правильно подобранных значениях давления и расхода энергоносителя, поскольку их производство определяет мощность, обеспечиваемую вентиляторной системой. В связи с этим одно из главных направлений дальнейших исследований вентилятора данного типа должно быть связано с получением теоретических и эмпирических зависимостей, позволяющих выполнить оценочные расчеты его основных параметров, при которых можно добиться максимально возможного КПД проектируемой вентиляторной системы.

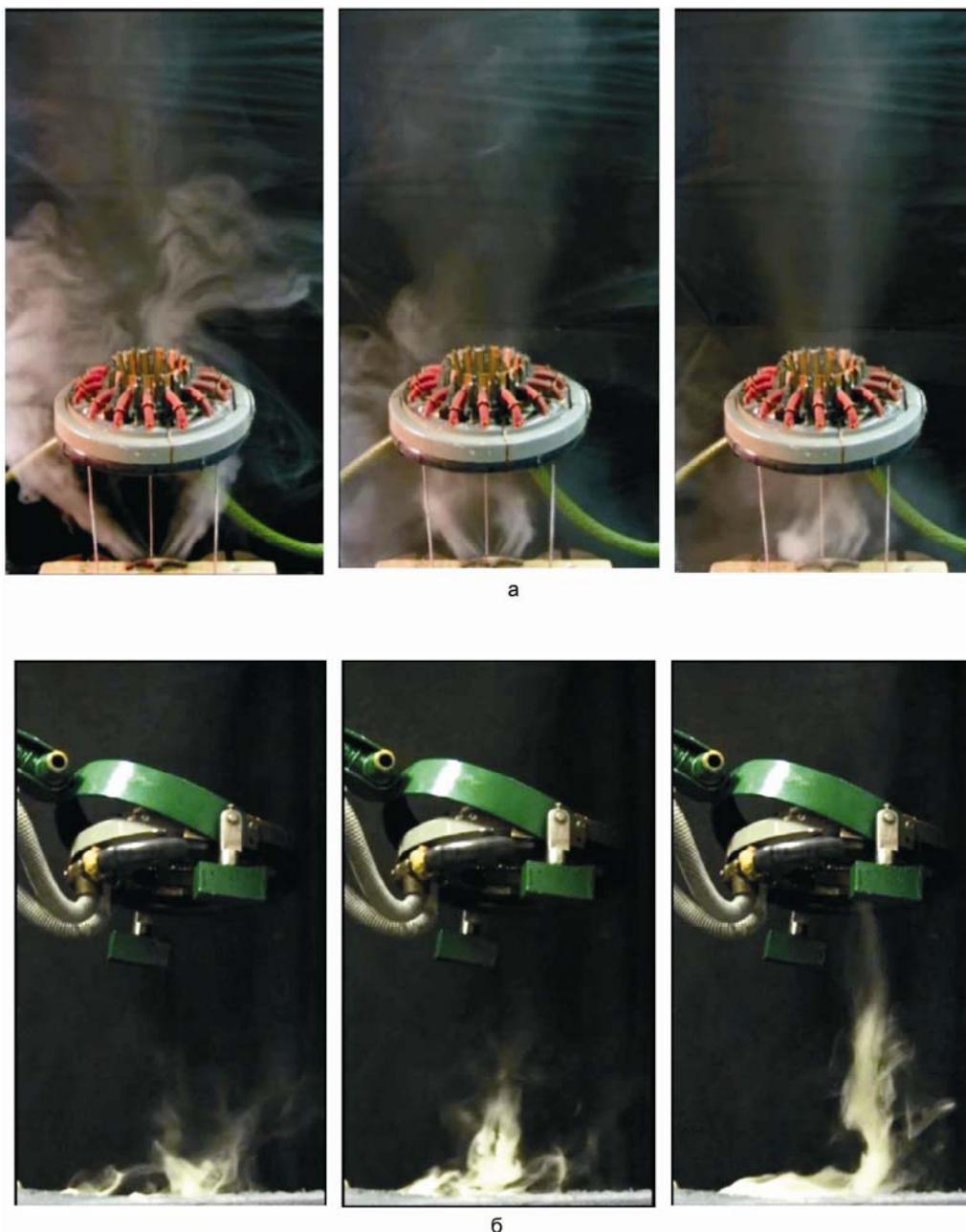


Рис. 7. Характерные картины потоков дыма, наблюдавшиеся при различных режимах функционирования безлопастного вентилятора во время эвакуации горячего (а) и холодного (б) дыма

ТАБЛИЦА 2. ПАРАМЕТРЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОГО ВЕНТИЛЯТОРА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ СУЩЕСТВОВАНИЕ ВОСХОДЯЩИХ ПО СПИРАЛИ ПОТОКОВ ХОЛОДНОГО ДЫМА

Давление воздуха, кПа	Расход подаваемого воздуха, л/мин		Удаление вентилятора от поверхности слоя дыма, при котором наблюдался срыв спиралеобразного восходящего потока, м
	узел возбуждения потоков	узел завихрения потоков	
100	30	20	0,8
	50	30	1,2
	60	40	1,5

Таким образом, предложенная вентиляторная система проветривания карьеров обладает рядом преимуществ по сравнению с известными аналогами и может быть рекомендована к практическому применению. Для создания ее опытно-промышленного образца необходимы

дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования, направленные на обоснование рациональных конструктивных и энергосиловых параметров, обеспечивающих эффективный газоотсос из рабочей зоны карьера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старостин, И. И. Проветривание карьеров струйными вентиляторами в комплексе с устройством для аэрации [Текст] / И. И. Старостин, А. В. Бондаренко // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2015. — № 1. — С. 32–41.
2. Конорев, М. М. Обоснование выбора схем проветривания и режимов работы систем вентиляции карьеров [Текст] / М. М. Конорев, Г. Ф. Нестеренко // Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-технический журнал. — 2002. — № 4. — С. 73–76.
3. Косарев, Н. П. Аэродинамика струйно-всасывающей схемы вентиляции застойных зон глубоких карьеров [Текст] / Н. П. Косарев, С. А. Тимухин, Ю. В. Попов [и др.] // Изв. вузов: Горный журнал. — 2005. — № 4. — С. 16–18.
4. Сытенков, В. Н. Управление пылегазовым режимом глубоких карьеров [Текст]: монография / В. Н. Сытенков. — М.: Геоинформцентр, 2003. — 288 с.
5. Конорев, М. М. Оценка состояния и перспективы применения систем вентиляции и пылегазоподавления на карьерах [Текст] / М. М. Конорев, Г. Ф. Нестеренко // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2012. — № 2. — С. 113–120.
6. Конорев, М. М. Состояние исследований и перспективы применения систем вентиляции и пылегазоподавления в атмосфере карьеров [Текст] / М. М. Конорев, Г. Ф. Нестеренко // Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-технический журнал. — 2008. — № 3. — С. 9–20.
7. Конорев, М. М. К вопросу вентиляции и пылегазоподавления в атмосфере карьеров [Текст] / М. М. Конорев // Там же. — 2006. — № 3. — С. 107–126.
8. Голинько, В. И. Вентиляция шахт и рудников [Текст]: учебное пособие для вузов / В. И. Голинько, Я. Я. Лебедев, О. А. Муха. — Днепропетровск: НГУ, 2014. — 266 с.
9. А. с. 590458 СССР, МПК Е 21 F 1/08. Установка для проветривания карьеров [Текст] / С. С. Филатов, А. И. Павлов, С. М. Росляков [и др.]. — № 2189042/22-03; заявл. 10.10.1975; опубл. 30.01.1978. Бюл. № 4.
10. А. с. 581301 СССР, МПК Е 21 F 1/00. Карьерная оросительно-вентиляционная установка [Текст] / В. С. Азаров, Г. М. Варич, В. Н. Верба [и др.]. — № 2198537/22-03; заявл. 11.12.1975; опубл. 25.11.1977. Бюл. № 43.
11. Пат. 2630443 Российской Федерации, МПК F 24 F 7/00, F 04 D 25/00, F 04 D 29/00. Узел безопасного вентилятора для эвакуации газопылевых выбросов из промышленных агрегатов [Текст] / Е. Н. Смирнов, С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев [и др.]. — № 2016119782; заявл. 23.05.2016; опубл. 07.09.2017. Бюл. № 25.
12. Еронько, С. П. Исследование на физической модели возможности использования принципа вентилятора Дайсона в системах газоотсоса металлургических агрегатов [Текст] / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев, А. С. Сосонкин // Металлургические процессы и оборудование. — 2014. — № 2. — С. 51–59.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ ИЗ КАРЬЕРА АВТОМОБИЛЬНЫМ НАКЛОННЫМ КАРЬЕРНЫМ ПОДЪЕМНИКОМ*

М. А. ЧЕНДЫРЕВ, *Chendyrev@igduran.ru*; А. Г. ЖУРАВЛЕВ, *канд. техн. наук (ФГБУН “Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук”)*

В настоящий момент работы по добыче полезных ископаемых достигли большой глубины, и в этих условиях транспортировка горной массы на поверхность существенно усложняется, происходит увеличение стоимости.

Чтобы избежать чрезмерного расхода топлива автосамосвалами и сократить время подъема горной массы, для Сибайского карьера была спроектирована скиповая подъемная установка, при помощи которой горную массу поднимали из карьера, она прослужила 25 лет [1]. Сам Сибайский карьер уже отработан, но остались рельсовые пути, по которым перемещались 27-т скипы.

Известен опыт применения скиповых подъемников на карьерах США (карьеры Мармора, Либерти, Невада, Мортон, Чино), Канады (Джефри-майн), Испании (Маркуэсадо), Конголезской Республики (Колвези) [2].

Существенное совершенствование автомобильной техники привело к тому, что подобные установки стали менее привлекательны и постепенно вышли из обращения. Однако идея подъема горной массы по кратчайшему пути живет по сей день и периодически в научно-технической литературе и в релизах концептуальных разработок производителей оборудования появляются предложения по созданию наклонных автомобильных подъемников.

В 1990-е годы выполнены предпроектные проработки автомобильного наклонного подъемника (АНК-120) для карьера “Юбилейный” АК АПРОСА, они предполагали подъем с помощью специальной платформы автосамосвалов грузоподъемностью 120 т (полная масса 210 т) [3].

Компании GHD и Siemag представили модели наклонных автомобильных подъемников [4, 5].

В Японии и вовсе воплотили идею в жизнь (рис. 1), правда, в уменьшенном масштабе. Одноконцевой подъемник используется для подъема двух самосвалов с породой от подземных

горных выработок на борт дамбы. Ориентировочная грузоподъемность установки 50–60 т. Такое необычное решение было связано со сложным ландшафтом местности, сильно затрудняющим создание автодорог. Установка проработала ориентировочно до 2015 г., после чего все конструкции были демонтированы.

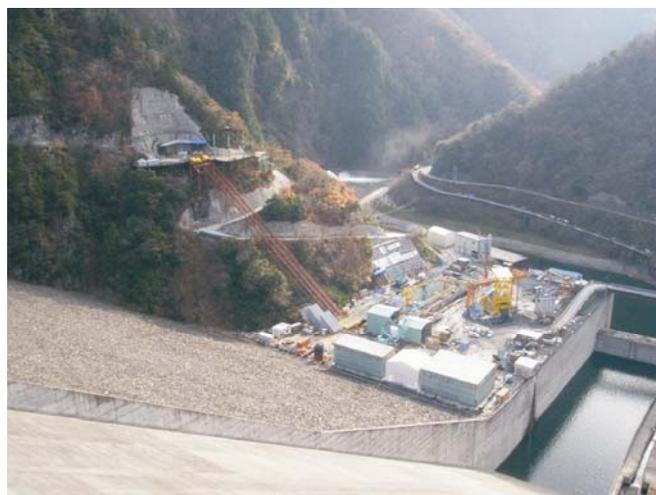


Рис. 1. Электростанция Токуяма, префектура Гифу, Япония

С целью сокращения затрат на транспортирование горной массы авторами предлагается автомобильная наклонная карьерная подъемная установка (АНКП) (рис. 2).

АНКП состоит из подъемной машины, платформ для размещения автосамосвалов, опорных конструкций, закрепленных на борту карьера, загрузочного и разгрузочного пунктов. Платформы соединены между собой тяговыми канатами, проходящими через шкивы трения подъемных машин, и уравнивают друг друга. Установка приводится в движение за счет шкивов трения.

* Исследование выполнено в рамках Государственного задания 07-01398-17-00, тема № 0405-2015-0010.



Рис. 2. *Общий вид автомобильной наклонной карьерной подъемной установки*

Трасса подъемника прокладывается непосредственно по борту карьера и может наращиваться с глубиной для увеличения высоты подъема. При выборе трассы всегда учитывается закономерность: с увеличением угла наклона трассы давление от платформы на трассу уменьшается, но увеличивается нагрузка на тяговые канаты. В случае мягких или сыпучих пород поверхность трассы может бетонироваться, либо возможна постройка наклонной ферменной конструкции (см. рис. 1). Место установки подъемника должно выбираться с учетом возможного размещения поверхностных сооружений подъемника, наиболее устойчивых пород в борту карьера, достижения бортом границы карьера и минимального расстояния до отвалов, возможности создания наиболее прямолинейной траектории движения, хотя исследования [6] предусматривают возможность использования трассы подъема с выпуклым профилем пути. В качестве направляющих для движения платформ прокладываются железнодорожные пути соответствующей нагрузочной способности [7].

Для подъема используется платформа, представляющая собой две площадки, связанные между собой пространственной силовой конструкцией. Нижняя часть опирается на 2–4 пары железнодорожных тележек, распределяя нагрузку на рельсовые пути. Верхняя часть представляет собой платформу для размещения автосамосвала, на которой имеются выемки под колеса для размещения самосвала в положении, обеспечивающем рациональное распределение веса на платформе. Ранее в карьерных наклонных установках применялись лишь скипы [8].

Установка приводится в действие при помощи многоканатных машин со шкивами трения, что позволяет распределить нагрузку на несколько

потоков и использовать канаты меньшего диаметра, а следовательно, и меньший диаметр шкива. Подобная схема предлагалась в работе [9], но с использованием противовеса, что понижает производительность установки. Авторами же предлагается использовать в качестве противовеса вторую платформу с порожним автосамосвалом, за счет чего будет происходить частичное уравнивание грузовой и порожней ветвей канатов. Также известна схема, при которой установка приводится в движение за счет автономного привода [10] от колес автосамосвалов.

Используемые для приведения в движение установки канаты имеют закрытую конструкцию и диаметр от 32 до 90 мм, от 4 до 8 канатов в зависимости от грузоподъемности, при этом, согласно строительным нормативам, коэффициент запаса составляет от 8 до 6,5. Также в системе применяются отклоняющие шкивы, расположенные в верхней части здания подъемных машин и предназначенные для изменения направления движения канатов от подъемных машин к грузовым платформам.

Исследования показывают, что большая экономическая эффективность применения АНКП, вероятнее всего, будет присуща установке со значительной высотой подъема (150–400 м) за счет существенного сокращения парка автосамосвалов и связанных с этим затрат.

Потенциальные преимущества использования:

- сокращение парка автосамосвалов и затрат на их содержание за счет уменьшенного времени подъема;
- уменьшение расхода дизельного топлива и выбросов отработавших газов за счет применения электрической тяги подъемных машин;
- возможность увеличения глубины карьера в случае отказа от размещения автомобильных дорог на бортах карьера в зоне вскрытия наклонным подъемником.

Ограничения при применении:

- ограничение производительности одного подъемника, особенно при значительной высоте подъема;
- высокая стоимость строительства, которая может не окупаться сокращением затрат на автотранспорт;
- постройка установки, рассчитанной на большую грузоподъемность, вызывает ряд технических трудностей;

- часть борта карьера, где располагается подъемник, должна быть законсервирована на длительное время либо заблаговременно поставлена в конечное положение;

- необходимость лучшей координации движения автосамосвалов для оптимального режима работы установки;

- большие временные, трудовые и финансовые затраты на строительство подъемника.

На рис. 3 представлен график сокращения расхода топлива автосамосвалами при применении АНКП в зависимости от высоты подъема и объема перевозок горной массы из карьера.

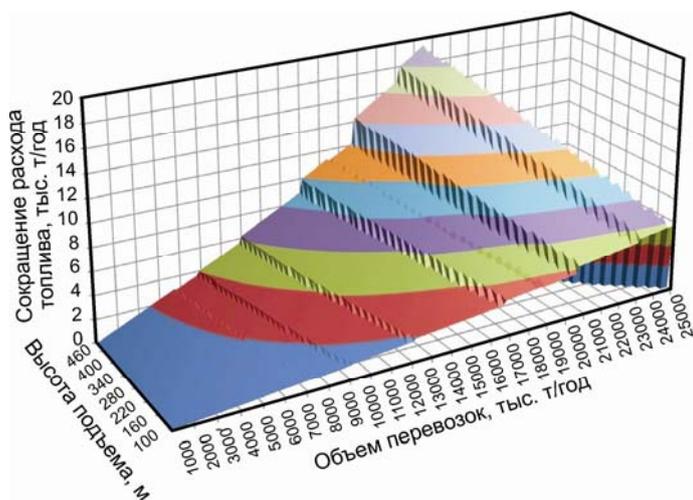


Рис. 3. График сокращения расхода топлива карьерными автосамосвалами при использовании АНКП

В расчетах принимались автосамосвалы Белорусского автомобильного завода грузоподъемностью 45, 60, 90, 136, 160, 180, 220, 240 т.

Скачки графика связаны со сменой грузоподъемности установки соответствующей производительности при использовании самосвалов минимально возможной грузоподъемности.

Как видно из рис. 3, автосамосвалы большей грузоподъемности отличаются меньшей топливной экономичностью при прочих равных условиях и, соответственно, сокращение расхода топлива у них выше.

На рис. 4 представлен график эксплуатационных затрат при использовании АНКП в зависимости от высоты подъема и объема перевозок горной массы из карьера.

Скачки графика с ростом объема перевозок, как и на рис. 3, связаны со сменой грузоподъемности установки соответствующей производительности при использовании самосвалов минимально возможной грузоподъемности. Дополнительные скачки с увеличением высоты подъема

связаны с изменением конструкции подъемника — увеличением числа канатов либо их диаметра.

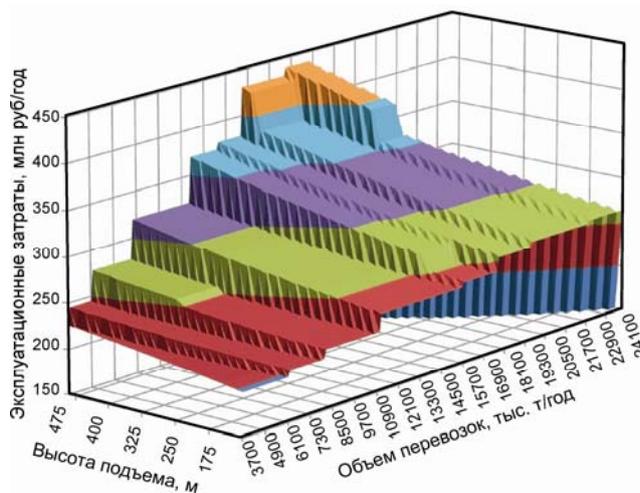


Рис. 4. График эксплуатационных затрат на АНКП

Условно-постоянная часть затрат состоит из стоимости содержания установки, зарплаты обслуживающего персонала, стоимости тяговых канатов, условно-переменную часть составляют расходы на электроэнергию, этим объясняется малое удорожание в пределах каждой ступени.

На рис. 5 представлен график сокращения эксплуатационных затрат за счет снижения расхода топлива при использовании подъемной установки в зависимости от высоты подъема и объема грузоперевозок.

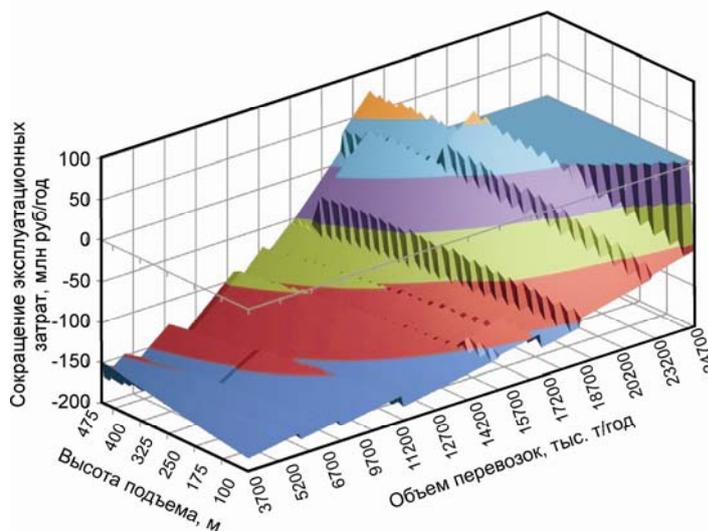


Рис. 5. График сокращения эксплуатационных затрат при использовании АНКП за счет сокращения расхода топлива

Таким образом, по рис. 3–5 можно сказать, что даже уровень сокращения расхода топлива за счет подъема самосвалов АНКП составляет существенную величину. А если учесть сокра-

щение времени доставки за счет подъема самосвалов по кратчайшему расстоянию, сокращение парка автосамосвалов, то потенциальный эффект АНКП может быть значительно выше.

Выводы

1. Создание карьерных автомобильных наклонных подъемников технически осуществимо для автосамосвалов грузоподъемностью до 130–140 т, а, возможно, и до 240 т.

2. При создании таких установок необходимо применять современные технологии и конструкционные материалы для снижения их минимальной металлоемкости и энергоемкости подъема самосвалов, а также сокращения сроков строительства.

3. Выгоды от применения подъемника в глубоких карьерах достигаются:

– сокращением парка автосамосвалов;

– снижением расхода материалов и ресурсов на автотранспорт;

– снижением загазованности рабочего пространства карьера;

– сокращением объема разноса бортов за счет уменьшения количества автодорог в карьере.

4. Область применения автомобильных подъемников определяется их максимальной производительностью, которая составляет 3,8–16,6 млн т/год для автосамосвалов грузоподъемностью 45–240 т при высоте подъема 300 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хохлаков, В. С. Новожилов Михаил Галактионович (1911–1997). К столетию со дня рождения [Текст] / В. С. Хохлаков // Известия УГГУ. — 2012. — № 27–28. — С. 165–167.
2. Васильев, М. В. Транспорт глубоких карьеров [Текст] / М. В. Васильев. — М.: Недра, 1983 — 296 с.
3. Сисин, А. Г. Эффективность автомобильно-клетевых подъемников АНК-120 на глубоких карьерах [Текст] / А. Г. Сисин, В. И. Белобров, М. А. Файнблит, А. Н. Акишев // Горный журнал. — 1995. — № 5. — С. 19–21.
4. http://www.siemag-tecberg.com/cms/upload/downloads/en// TI_27_Trucklift_e.pdf / [Буклет] Trucklift system. technical information.
5. <https://www.youtube.com/watch?v=kZFAuKhNiPo> / [Видеофайл] GHD - "Innovation - TULIP Truck lift".
6. Жуков, Л. И. Карьерные наклонные скиповые подъемники с выпуклым профилем пути [Текст] / Л. И. Жуков // Материалы ко II Всесоюз. научно-технич. конф. по карьерному транспорту. — Свердловск, 1966. — С. 144, 145.
7. Волков, Г. М. Рельсовые пути карьерных наклонных скиповых подъемников [Текст] / Г. М. Волков // Там же. — Свердловск, 1966. — С. 149–151.
8. Долинин К. А. Опыт проектирования и строительства на Сибайском карьере первого в СССР наклонного скипового подъемника [Текст] / К. А. Долинин // Материалы к III Всесоюз. научно-технич. конф. по карьерному транспорту. — Свердловск, 1973. — С. 337–341.
9. Демидов, Ю. В. Использование наклонных подъемников для транспортирования крупнокусковой горной массы на глубоких карьерах Заполярья [Текст] / Ю. В. Демидов, Н. К. Трубецкой, С. С. Наумов, О. С. Головатая // Изв. вузов: Горный журнал. — 1998. — № 3. — С. 42–45.
10. Кулешов, А. А. Автомобильный карьерный подъемник с автономным приводом [Текст] / А. А. Кулешов, Ю. Д. Тарасов // Там же. — 2001. — № 1. — С. 53–56.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА

Часть 10. Борьба с вредными выбросами агломерационных фабрик. Текущие выбросы агломерационных фабрик

Ю. А. ФРОЛОВ¹, д-р техн. наук, *uaf.39@mail.ru*; Л. И. КАПЛУН², д-р техн. наук, проф.
И. М. МИЩЕНКО³, канд. техн. наук, проф.; Я. Ю. АСЛАМОВА³
(¹ ООО «НПП «Уралэлектра», ² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
³ ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»)

В продолжение серии статей, посвященных технологии агломерационного процесса [1–9], представлена информация о текущих вредных выбросах современных агломерационных фабрик мира.

Доля наиболее массовых выбросов аглофабрик — пыли, CO, SO₂ и NO_x, по данным С.М. Андоньева и С.В. Филиппева [10], на отечественных предприятиях полного металлургического цикла составляет 31, 78, 61 и 26 % соответственно. Аналогичные данные приводятся в работах Ю.С. Юсфина с соавторами [11] и И.М. Мищенко [12].

В России, как и в СНГ, борьба с вредными выбросами агломерационных фабрик ограничивается очисткой отходящих газов агломашин от пыли, как правило, в батарейных циклонах. Исключением является аглофабрика ЧелМК, на которой отходящие газы агломашин в зонах спекания шихты и охлаждения агломерата очищаются от пыли в электрофильтрах, и аглофабрика ММК, на которой отходящие газы нескольких агломашин очищают от сернистых соединений.

Наибольший интерес представляет характеристика выбросов загрязняющих веществ агломерации и опыт борьбы с ними в Западной Европе и других развитых странах мира. Анализ данных об агломерационных выбросах выполнен Институтом перспективных технологических исследований Объединенного исследовательского центра Европейского бюро IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) [13] и рассмотрен в настоящей статье.

Целью рабочего проекта IPPC является обеспечение контроля и комплексного предотвраще-

ния загрязнений, возникающих от ряда видов деятельности, в частности от производства агломерата. Центральное место в этом подходе — общий принцип, согласно которому предприятия должны принимать все необходимые меры против загрязнений окружающей среды в основном в результате применения системы BAT (Best Available Technology — наилучшие доступные технологии), позволяющей улучшать экологические характеристики промышленных установок.

Наилучшие технологии рассматриваются как самый эффективный и современный этап достижения минимальных выбросов вредных веществ и уменьшения их губительного воздействия на окружающую среду. Эти методы включают собственно технологию, а также информацию о том, каким образом установка проектируется, строится, обслуживается, эксплуатируется и при необходимости выводится из эксплуатации.

Доступные технологии — это те технологии, которые разработаны в масштабе, позволяющем внедрять их в соответствующем промышленном секторе при экономически и технически осуществимых условиях с учетом затрат и выгод.

Европейской комиссией по охране окружающей среды создана тематическая группа по обмену информацией, оказанию помощи заинтересованным предприятиям. Созданы рабочие и специальные технические группы, включающие в свой состав представителей государств — членов сообщества и представителей отрасли.

Число установок и объем продукции агломерационных и обжиговых фабрик Евросоюза приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. ЧИСЛО УСТАНОВОК И ОБЪЕМ ПРОДУКЦИИ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ФАБРИК ЕВРОСОЮЗА

Страна ЕС-27	Число аглофабрик	Число агломашин	Общая площадь спекания, м ²	Объем производства, тыс. т/год	Число обжиговых фабрик	Объем производства, тыс. т/год
Австрия	2	2	342	3500		
Бельгия	4	5	1405	15300		
Чешская Республика* ¹	2	9	735	6500		
Германия	8	12	2282	29400		
Испания	1	2	481	5400		
Финляндия	1	3	225	2700		
Франция	5	6	2013	23765		
Венгрия	2	2	100	900		
Италия	2	7	962	11500		
Нидерланды	1	3	354	4400	1	4900* ¹
Польша	2	4	1161	9000		
Словакия* ¹	1	4	440	4100		
Швеция	0				5	22150* ²
Великобритания	3	4	1328	13700		
Итого	34	63	11828	130165	6	27050

*¹ 2007 г.
*² 2008 г.
Все остальные данные 2005 г.

Для сбора исходных данных в рабочем проекте [4] разработана схема входных и выходных потоков аглофабрик.

Она включает нижеследующую информацию.

Общая информация: мощность аглофабрики (АФ), т/год; число агломашин; срок эксплуатации АФ; время работы в год, ч/год; охлаждение агломерата на агломашине или автономном охладителе.

Энергия: газ (коксовый, доменный, природный, м³/год); электроэнергия, кВт·ч/год; кокс и коксовая мелочь, т/год.

Вода: годовой расход, м³/год; собственные скважины/внешнее снабжение, %; обессоленная вода, м³/год.

Сырьевые материалы, вид и количество, т/год: железорудные материалы; пыль и возврат; известняк; железосодержащие отходы; оливины.

Вспомогательные материалы, вид и количество, т/г; компрессорный воздух, м³/год.

Аглофабрика — технологическая схема:

Твердые отходы, виды и количество, т/год: агломерационная пыль; шламы.

Сточные воды, источники и количества (не относится к охлаждающей воде), м³/год; прямые сбросы (нет/есть).

Отходящие газы, дым. Источники и количество, концентрация, т/год: пыль, тяжелые ме-

таллы, SO₂, NO_x, HCl, HF, CO, органические соединения, С, PAH, PCD/F, ПХБ. Твердые частицы от транспортировки, дробления и грохочения материалов; выбросы технологических газов агломерационных машин, твердых частиц от охладителей агломерата.

Потери тепла, МДж/т.

Готовый продукт на выходе — агломерат.

На рис. 1 представлены данные о химическом составе агломерата на аглофабриках Евросоюза с общим производством около 100 млн т/год агломерата. Основность агломерата начиная с 2000 г. увеличилась в среднем до 1,80. Это привело к небольшому снижению выбросов SO₂. Отмечено, что поглощение серы агломератом высокой основности возможно только тогда, когда в качестве флюса используется CaCO₃, а не MgCO₃.

В общих выбросах (по массе в единицу времени) металлургического завода полного цикла доминируют газообразные выбросы агломерационных фабрик.

Характерные профили распределения состава отходящего газа агломашин (CO₂, CO, O₂, H₂O) показаны на рис. 2 [14], а вредных веществ (CO₂, CO, SO₂, NO_x, щелочных хлоридов, тяжелых металлов и хлоридов ПХДД/Ф) — на рис. 3.

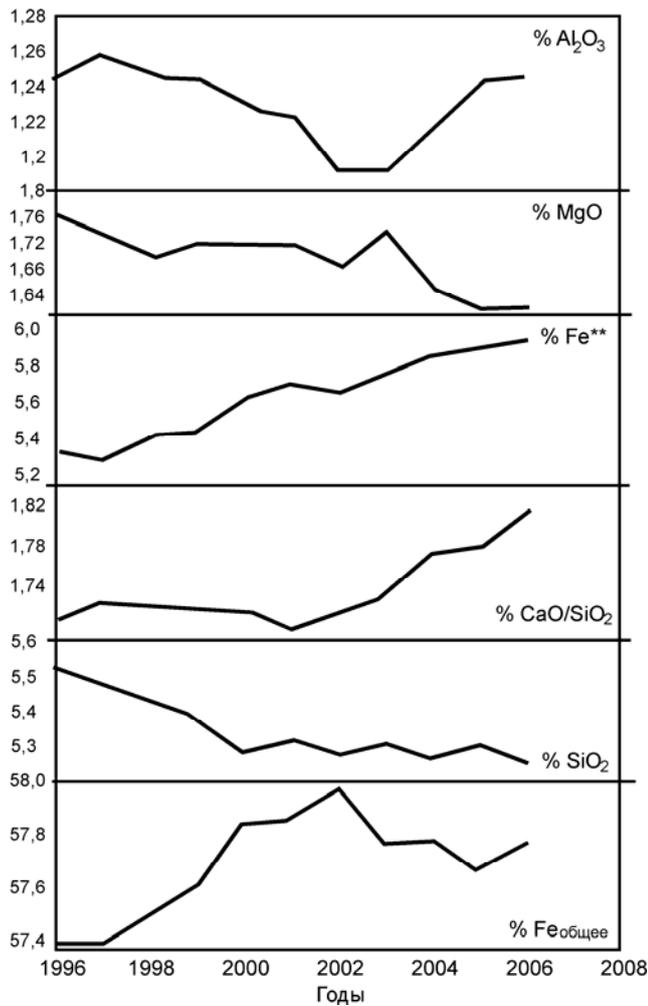


Рис. 1. Химический состав агломерата на аглофабриках, входящих в Европейский доменный комитет (** железо в FeO)

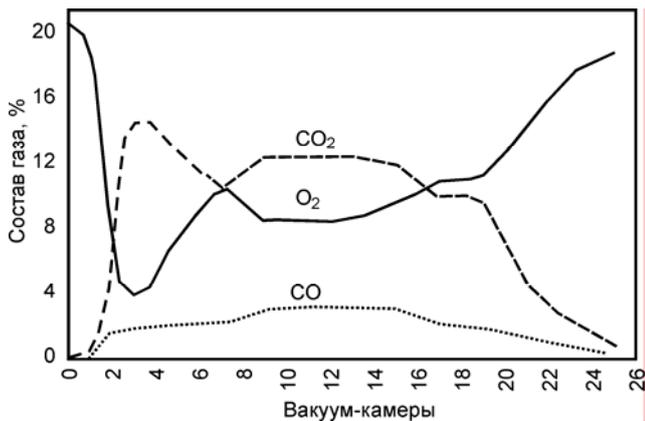


Рис. 2. Распределение состава отходящих газов по длине агломашины АКМ-312 (ЗСМК)

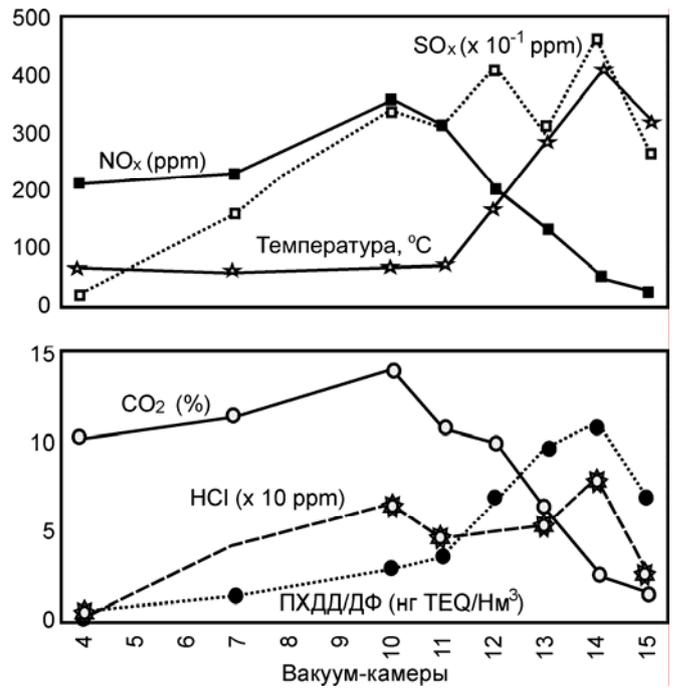


Рис. 3. Распределение температуры и состава отходящих газов по вакуум-камерам агломашины

Наличие и разнообразие вредных веществ, присутствующих в отходящих газах агломаши, является характерным для большинства процессов горения. Газ содержит твердые частицы (соединения железа, некоторых тяжелых, токсичных металлов, в частности свинца, цинка, мышьяка), а также хлориды, оксиды серы, азота и углерода, хлористый водород, фтористый водород, углеводороды, а также существенное количество полициклических ароматических углеводородов (ПАУ).

В табл. 2 представлены среднегодовые данные по выбросам загрязняющих веществ с технологическими газами агломаши на предприятиях стран ЕС. В табл. 3 показаны точечные источники выбросов в атмосферу для твердых частиц по основным технологическим операциям агломерационных фабрик. Табл. 3 дополняет данные табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. УДЕЛЬНЫЕ ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ АГЛОФАБРИК СТРАН ЕС ПОСЛЕ ПРИНЯТИЯ МЕР ПО ИХ РАДИКАЛЬНОМУ СОКРАЩЕНИЮ

Характеристика	Единица измерения	Максимум	Минимум	Число измерений	Производство агломерата при измерениях, т	
Выбросы в воздух						
Отходящие газы* ¹	нм ³ /т агломерата	2500	1500			
Пыль* ²	г/т	559,4	40,7	21	94321	
Фракция +10 мк* ³	агломерата	177,13	66,33* ³	13	60385	
As	мг/т агломерата	15,0	0,6	15	66358	
Cd		276,7	0,2	18	77731	
Cr		125,1	3,6	16	69140	
Cu		600,5	1,9	16	69140	
Hg		207,0	0,1	17	72693	
Mn		539,4	3,4	13	56612	
Ni		175,6	1,3	17	65492	
Pb		5661,2	26,1	16	69140	
Se		120,5	21,8	8	40598	
Tl		86,6	0,5	12	56612	
V		158,5	0,6	12	47156	
Zn		1931,3	2,1	17	75197	
HCl		г/т агломерата	847,6	1,4	18	63579
HF			8,2	0,4	17	59129
NO _x * ⁴	1031,2		302,1	21	94321	
SO ₂	973,3		219,9	21	94321	
CO	27000		8783	19	81284	
CO ₂ * ⁵	368000		161533	15	81326	
CH ₄	412,5		35,5	12	48835	
Неметановые летучие органические соединения (НМЛОС)	260,9		1,5	15	56901	
ПАУ	мг/т агломерата	591,7	0,2	10	40441	
BaP	мг/т агломерата	41,5	0,1	11	41243	
ПХДД/Ф	г I-TEQ/т агломерата	16	0,15	18	74249	
Полихлорированные бифенилы (ПХБ)	нг TEQ/т агломерата	178,0	24,5	5	13008	
Полихлорированные дифенилы (ПХД)	мг/т агломерата	13	1	2	—	
Отходы						
Пыль	г/т агломерата	3641,29	171,05	5	23021	
Шламы	г/т агломерата	4492,18	472,73	3	11341	
Сточная вода	м ³ /т агломерата	0,06	0,03	2	7028	
* ¹ Средний выход отходящих газов принят равным 2100 м ³ /т агломерата.						
* ² Значения относятся к дымовой трубе тракта технологических газов агломашин.						
* ³ Имеется кажущееся несоответствие между общими выбросами пыли и пыли класса +10 мк.						
* ⁴ Оксиды азота NO _x относятся к преобладающему диоксиду NO.						
* ⁵ Если используются карбонатные железные руды, то концентрация CO ₂ в отходящих газах увеличивается. Выбросы CO ₂ на АФ, которые не используют карбонатные руды, составляют 161–368 кг/т агломерата, тогда как на АФ, которые применяют карбонатные руды, среднее значение может быть выше в 2 раза.						

ТАБЛИЦА 3. ТОЧЕЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ДЛЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ПО ОСНОВНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОПЕРАЦИЯМ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ФАБРИК (ЗА ИСКЛЮЧЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВ АГЛОМАШИН)

Места выбросов	Пыль, г/т		Пыль, мг/м ³	
	общая	+10 мк	общая	+10 мк
Усреднение и смешивание	0,5–37,7	5,6–18,9	Нет св.	Нет св.
Узел разгрузки агломерата дробление/грохочение и узел очистки газа от пыли	14,5–40	7,7–25,1	7–50	4–43
Охладитель агломерата	14–212	1,3–42,8	0,6–85	0,6–36

Пыль, выделяющаяся на разгрузочном конце агломашин, объединяется системой аспирации с другими источниками пылевыведения, и запыленный воздух подается на очистку от пыли в газоочистных аппаратах. Уловленная пыль частично или полностью возвращается в агломерационную шихту. В операциях дробления, грохочения

и охлаждения агломерата выделяется пыль, химический состав которой в основном соответствует химическому составу агломерата.

В пыли, выделяющейся в зонах разгрузки и охлаждения агломерата, в отличие от пыли зоны спекания очень низкое содержание хлоридов, а также органических микрозагрязнителей.

Выбросы вредных веществ с отходящими газами агломерационных машин

Пыль

Количественный анализ распределения гранулометрического состава пыли по длине агломерационной ленты (рис. 4) показывает два максимума: один — для грубой пыли (с размером частиц около 100 мкм) и другой — для тонкой пыли (0–1 мкм).

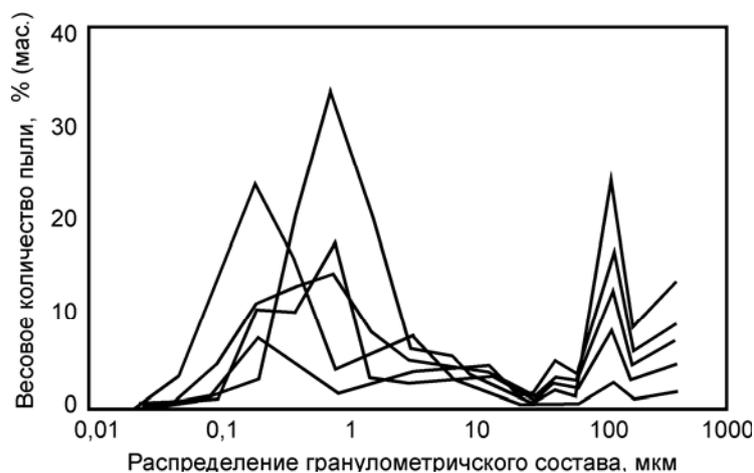


Рис. 4. Размер частиц пыли и ее весовое распределение на нескольких агломашинах

Две разновидности крупной и мелкой пыли объясняются существованием двух процессов формирования потоков пылевых частиц. Грубая пыль образуется в начальной стадии процесса спекания и поступает вместе с просыпью шихты из нижней части спекаемого слоя, в то время как мелкая пыль образуется после окончания испарения влаги шихты.

Ситовый состав грубой пыли соответствует крупности агломерационной шихты и эта пыль улавливается с высокой степенью осаждения в электрофильтрах. Мелкая пыль включает частицы хлоридов и соединений свинца, образовавшихся в процессе спекания.

Пыль, содержащая хлориды щелочных металлов, имеет высокое удельное электросопротивление (10^{12} – 10^{13} Ω ·см) и таким образом формирует изолирующий слой на осадительных электродах электрофильтра. Этот слой создает серьезные проблемы при улавливании пыли и снижает эффективность работы электрофильтров.

Соли хлоридов могут удаляться при КПД электрофильтров не более 60 %. Присутствие этих солей в мелкой пыли означает, что даже хорошо спроектированные электрофильтры не могут обеспечить концентрацию пыли в газах на выходе менее 100–150 мг/м³. Необходимо эффективно обслуживать электрофильтры вибрационным встряхиванием и упреждающим регулированием для того, чтобы достичь концентрации пыли ниже 50 мг/м³ в течение стабильного режима работы установки.

Поведение хлоридов свинца аналогично поведению щелочей, и, следовательно, относительно высокие выбросы свинца с отходящими газами агломашин создают большие трудности по борьбе с выбросами пыли.

В табл. 4 приведен химический состав пыли, уловленной в электрофильтрах.

ТАБЛИЦА 4. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЫЛИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ АГЛОМАШИН*, % (мас.)

Fe (общее)	Cl	S	Si	C	P	K ₂ O	Ca
43,7–49,9	2,9–25,8	0,22–4,07	2,73–3,62	2,9–6,12	0,01–0,24	3–9,07	7,55–7,83

Продолжение табл. 4

Al	Zn	Mn	Cu	Cr	Pb	Na ₂ O	Ni	Cd	TiO ₂
0,43–2,17	0,03–0,34	0,10–0,31	0,005–0,17	0,04–0,15	0,09–5,98	0,58–31,6	0,003	0,0009	0,099

* Пыль, уловленная электрофильтром агломашины, имеющим три поля осаждения пыли и работающим при температуре отходящих газов 120–130 °С. Химический состав приведен для пыли из поля осаждения № 3 электрофильтра, где улавливаются наиболее тонкие фракции.

Тяжелые металлы

Свинец

Во время процесса спекания шихты свинец образует соединения PbO–PbCl₂, PbCl₂ и, вероятно, также PbCl₄. Эти соединения свинца являются относительно летучими и входят в газовую фазу. Их свойства (летучесть, отсутствие роста размеров частиц, очень мелкие кристаллы PbCl₂) приводят к среднегодовому уровню выбросов свинца с отходящими газами до 10 г/т агломерата, что соответствует средней концентрации 3 мг Pb/нм³ отходящих газов при их выходе около 2100 нм³/т агломерата. Эффективность удаления для очень мелких частиц пыли, содержащих свинец, невелика даже для современного электрофильтра. Из данных химического анализа отложений пыли на листьях деревьев известно, что концентрация соединений свинца в окружающем воздухе в зоне действия аглофабрик может быть значительно выше по сравнению с общим уровнем, даже если выбросы сведены к минимуму путем применения высокоэффективных скрубберов Вентури после электрофильтров. Наиболее важным фактором в формировании хлорида свинца является не концентрация свинца в аглошихте (обычно 40–100 г Pb/т шихты), а концентрация хлорида (обычно 200–700 г Cl/т шихты).

Изучение профиля концентрации соединений свинца вдоль агломерационной машины показывает, что улетаивание свинца происходит на ее первых двух третях.

Многие агломерационные фабрики Европы работают с использованием замкнутых циклов для осаждаемой пыли. Это означает, что вся осаждаемая пыль электрофильтров возвращается в процесс спекания. По сравнению с частично открытым циклом для пыли (пыль в последнем поле электрофильтра, которая в основном состоит из щелочных металлов и хлоридов, отправляется в отвал) замкнутые циклы аглофабрик имеют более высокие выбросы щелочных металлов и выбросов хлора.

При наличии фтора в агломерационной шихте могут быть образованы фториды свинца. Они более летучие, чем хлориды свинца, и поэтому

могут вносить существенный вклад в общие объемы выбросов свинца.

Ртуть

Ртуть попадает в газовую фазу непосредственно в процессе спекания. Эти выбросы приводят к значительному росту концентрации ртути в зоне действия аглофабрики (например, это определяется по отложениям на листьях деревьев).

Уровень выбросов ртути с отходящими газами зависит от ее содержания в агломерационной шихте и составляет примерно 15–82 мг Hg/нм³ отходящих газов, или 0,100–0,207 мг Hg/т агломерата. Это при условии, что применяемые электрофильтры и мокрые газоочистки работают эффективно.

Цинк

Содержание цинка в агломерационной шихте, как правило, находится в диапазоне 70–200 г/т шихты. При высокой температуре процесса в зоне горения топлива цинк испаряется, но затем реагирует с химическими соединениями шихты, образуя, например, феррит цинка, который или остается в агломерате, или переходит в газ в виде пыли, и может быть уловлен в электрофильтре с высокой степенью очистки газа от тонких пылей. Температура в зоне спекания шихты оказывает существенное влияние на испарение цинка. Во влажном газе цинк может присутствовать на уровне концентрации 50 мг/нм³, или 100 г/т агломерата. Очищенный отходящий газ может содержать до 1,60 г Zn/т агломерата.

Хлориды щелочных металлов

Содержание щелочей в агломерационной шихте обычно колеблется в пределах 600–1000 г K₂O/т шихты и 250–500 г Na₂O/т шихты. В некоторых случаях, в зависимости от качества руды, наблюдалось до 3000 г K₂O/т агломерата. Дан-

ные о содержании хлоридов щелочных металлов в компонентах шихты и отходах приведены ниже:

Материал	Содержание растворимых хлоридов, мг/т
Железная руда	27–159
Флюсы	51–125
Циркулирующие отходы	22–3800
Пыль электрофильтров	2500–34074
Топливо	78–629

Оксиды серы (SO_x)

Оксиды серы (в основном SO₂) образуются в отходящих газах в результате горения (окисления) соединений серы в агломерационной шихте. Соединения серы на европейских аглофабриках преимущественно поступают с коксовой мелочью. Вклад железной руды, как правило, на порядок меньше.

Общий приход серы колеблется в диапазоне 0,28–0,81 кг/т агломерата. Концентрация выбросов SO₂ — это обычно 200–1000 г/т агломерата (что соответствует средней концентрации 95–480 мг/м³ отходящих газов, рассчитанных на их выход 2100 нм³/т агломерата). Распределение концентрации SO_x по длине агломерационной машины четко меняется со значительными отличиями в концентрации SO₂ в отдельных вакуум-камерах (см. рис. 3). Самая высокая концентрация SO₂ в газе достигается в конце агломашины незадолго до окончания процесса горения топлива. Этот профиль концентраций SO₂ дает возможность подвергать очистке только часть отходящих газов.

Фториды

Выбросы фтора в первую очередь зависят от его содержания в руде и основности аглошихты. Руды, богатые фосфором, содержат, как правило, и значительные количества фтора (1900–2400 ppm).

В Европе особенности такого типа руд, экспортируемых из Швеции, хорошо изучены и используются для производства окатышей.

Увеличение основности агломерата сопровождается значительным снижением выбросов фтора. Выбросы фтористого водорода составляют 0,4–9,0 г F/т агломерата в среднегодовом исчислении, или 0,2–4,3 мг F/нм³ газа (при выходе отходящих газов 2100 нм³/т агломерата).

Оксиды азота (NO_x)

Высокая температура в зоне горения топлива обуславливает образование NO_x. NO_x может быть образовано тремя способами: сгоранием

органических соединений азота в шихте (“топливный NO_x”), реакцией разложения компонентов молекулярного азота (N₂) в зоне горения топлива (“быстрый NO_x”) и реакцией молекулярного кислорода (O₂) с молекулярным азотом (N₂) воздуха горения (“тепловой NO_x”). Топливные NO_x могут быть самыми значительными, составлять около 80 % от общего их содержания, но и тепловые NO_x могут быть доминирующими — до 60–70 % от общего их выхода. Выбросы NO_x находятся в диапазоне 300–1100 г NO_x/т агломерата, что соответствует концентрации 140–520 мг NO_x/нм³ (при 2100 нм³ отходящих газов/т агломерата).

Выбросы оксидов азота распределены вдоль агломерационной машины неравномерно. Тем не менее по сравнению с SO₂ различия не столь значительны (см. рис. 3). Оксиды азота состоят в основном из NO. Ввод тонких компонентов в шихту (например, пыли электрофильтра) снижает газопроницаемость слоя, тем самым увеличивая время контакта с воздухом и содействуя образованию NO_x.

По данным работы [15], содержание NO_x в отходящем газе после эксгаустера (агломашина АКМ-312 НЛМК) линейно связано с содержанием СО в газе и растет с увеличением высоты слоя шихты (рис. 5). Это можно объяснить тем, что в опытах с увеличением высоты слоя шихты снижается скорость фильтрации газа через слой, расширяется высокотемпературная зона и растет продолжительность реагирования N₂ и O₂ воздуха.

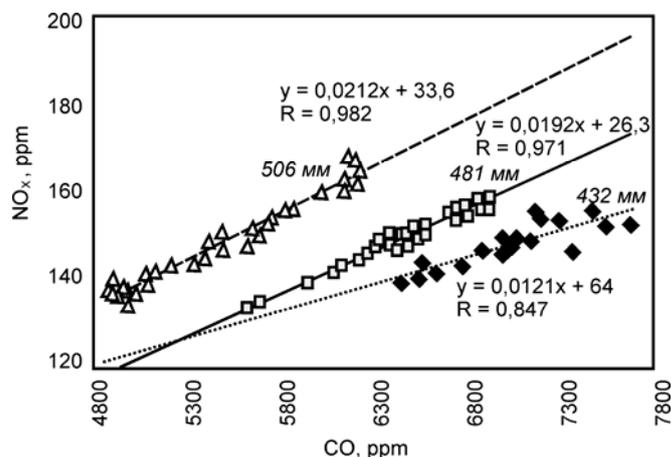


Рис. 5. Взаимосвязь между концентрацией CO и NO_x в отходящих агломерационных газах (АКМ-312 НЛМК)

Экспериментальные данные Л.И. Каплуна о зависимости содержания NO_x от концентрации, крупности коксика и скорости фильтрации воздуха при спекании инертного материала приведены на рис. 6.

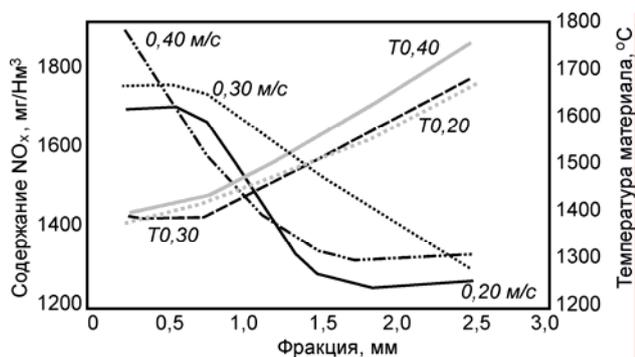


Рис. 6. Зависимость содержания NO_x в газе от крупности коксика при спекании инертного материала

Как следует из данных рис. 6, повышение концентрации топлива в инертном материале и снижение его крупности однозначно сопровождается ростом содержания NO_x в отходящем газе.

Характер влияния скорости фильтрации на содержание NO_x не очевиден. Этот фактор гораздо менее значим, чем концентрация топлива в слое и его крупность.

В реальной шихте максимальная температура материала в слое определяется температурой плавления шихты, а избыток топлива расходуется не на повышение температуры материала, а на увеличение количества расплава.

Другие неорганические соединения

Выбросы синильной кислоты HCN агломерационных установок могут быть довольно высокими. На одной аглофабрике Бельгии отмечены выбросы HCN в количестве 1646 кг/год. На австралийском металлургическом заводе по производству 5 млн т/год стали зарегистрированы выбросы HCN аглофабрики в количестве 2375 кг/год. Они соответствуют удельным выбросам около 0,4 г/т агломерата, или концентрации 0,17 и 0,20 мг/м³ отходящих газов. Обе аглофабрики либо преимущественно использовали в качестве топлива антрацит, либо применяли его для снижения выбросов оксидов азота, поэтому, как это влияет на образование HCN, осталось неясным.

Два измерения, выполненные на австрийской и немецкой аглофабриках, показали противоположные результаты. Массовая концентрация HCN была во всех случаях <0,02 мг/м³, что ниже пределов точности измерения.

Углеводороды

Выбросы углеводородов состоят в основном из продуктов, образующихся от пиролиза и неполного сгорания углеродсодержащего сырья. Основным источником выбросов углеводородов

является окалина прокатного производства. Большинство комплексных сталеплавильных заводов ввели внутренние стандарты на содержание масла в отходах, поступающих на аглофабрику (некоторые <0,1 %, другие <0,5 %, а отдельные даже <1,0 % в шихте), для того, чтобы избежать эксплуатационных проблем с электрофильтрами (отложения на поверхности, тлеющее горение), а также свести к минимуму выбросы.

Углеводородные выбросы происходят в результате их испарения перед зонами окисления/горения топлива при достижении этими зонами нижней границы слоя. Они включают метан, алифатические соединения, фенолы, олефины и ароматические углеводороды.

Выбросы неметановых летучих органических соединений (НМЛОС) составляют от 1,5 до 260 г/т агломерата по среднегодовым значениям (что соответствует средней концентрации выбросов в отходящих газах примерно 0,7–120 мг/м³, полученных для расхода отходящих газов 2100 нм³/т агломерата). Диапазон выбросов метана составляет 35–420 г/т агломерата, что соответствует средней концентрации выбросов в отходящих газах около 17–200 мг/м³.

На одной из бельгийских аглофабрик с производственной мощностью 3,186 млн т/год агломерата, использующей в качестве твердого топлива антрацит, выявлены выбросы бензола в количестве 2876 кг/год, что соответствует удельным выбросам 8,84 г/т агломерата и массовой концентрации бензола в газах 2,91 мг/м³.

На австралийской аглофабрике, также использующей антрацит, были выявлены выбросы бензола в количестве 3600 кг/год, что эквивалентно его концентрации 0,35 мг/м³ отходящих газов.

Факторы, влияющие на выбросы бензола, вообще не имеют четкого объяснения. Необходимо дальнейшие исследования по этой проблеме.

Диапазон выбросов ПХДД/Ф, образующихся на аглофабриках, составляет 0,15–14,64 г/т агломерата, при этом на большинстве аглофабрик он находится в пределах 0,2–6,0 г/т агломерата, или 0,07–2,86 мг/нм³ отходящих газов. Это дает основание утверждать, что производство агломерата на предприятиях полного металлургического цикла является основным источником выбросов ПХДД/Ф.

Проведены исследования для оценки условий образования диоксинов/фуранов и родственных соединений в процессе спекания.

Основные результаты выполненных исследований состоят в следующем.

1. Руды обычно содержат небольшое количество органических материалов. Основной источник органического материала — это отходы, ко-

торые могут содержать масла, например прокатная окалина. Технический анализ коксовой мелочи оказывает небольшое влияние на количество образующихся ПХДД/Ф. Установлена линейная зависимость между количеством органических веществ и образованием летучих органических веществ, причем последние имеют сильную корреляцию с концентрацией ПХДД/Ф.

2. Механизм образования ПХДД/Ф в процессе агломерации является сложным и включает в себя процессы, происходящие во всем объеме слоя в зависимости от вертикального и продольного распределения температур, которые развиваются в слое.

3. Содержание летучего хлора (например, NaCl, KCl, CaCl₂) и органических веществ в шихте — существенные факторы образования ПХДД/Ф. Источником хлора являются руды, содержащие хлорид и органические хлориды. Общее содержание хлоридов в железной руде составляет 12–720 ppm. Содержание хлоридов в известняке и других флюсах находится в этом же диапазоне. Возвращение в процесс спекания пыли сопровождается значительными изменениями в содержании хлоридов — от 1000 до 5000 ppm.

4. Определенную роль играют металлические катализаторы, такие как медь или железо, содержащиеся в минералах и коксе. Диапазон концентраций меди для десяти разновидностей же-

лезных руд составляет 10–70 ppm при содержании железа в рудах 57,2–67,9 %.

5. Предшественниками образования ПХДД/Ф являются хлорофены и полихлорированные дифенилы. Эти соединения, как правило, присутствуют в выбросах аглофабрик. Они относительно неустойчивы и улетучиваются перед зоной горения топлива, когда агломерационная шихта нагревается отходящими из этой зоны газами.

6. Некоторые исследования показали, что концентрация суммы ПХД в коксовой мелочи и железной руде составляет около 1,0–1,6 мг/кг агломерата, а расчеты для одной аглофабрики показывают потенциальное содержание на входе на аглоленту 0,85 мг/кг агломерата. То есть это продукт, который потенциально представляет собой существенный источник молекул-предшественников для образования диоксинов/фуранов.

7. Во взвешенном состоянии в отходящих газах содержится сажа, и она, обладая несовершенной кристаллической структурой, может содержать как хлориды, так и каталитические элементы — медь и железо.

8. Наличие ПХДД/Ф в циркулирующих отходах также может способствовать формированию ПХДД/Ф в отходящих газах.

Содержание ПХДД/Ф в некоторых видах сырья, материалах, шихте и агломерате приведено в табл. 5.

ТАБЛИЦА 5. СОДЕРЖАНИЕ ПХДД/Ф В СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛАХ И АГЛОМЕРАТЕ

Материалы	ПХДД, нг/г	ПХДФ, нг/г	ПХДД/ПХДФ, нг/г
АФ-1			
Сухая пыль ESP*	4,0–45,1	24–87,2	28–52
Колошниковая пыль	0,200	0,180	0,370
Окалина	0,064	0,084	0,150
Коксик	0,040	0,070	0,110
Возврат	0,027	0,016	0,043
Шихта	0,033	0,120	0,150
Агломерат	0,004	0,0008	0,005
АФ-2			
Окомкованная шихта	0,053	0,082	0,13
* Пыль из электрофильтра ESP, работающего при 120 °С с тремя полями осаждения. Характеристика АФ-1: производство агломерата — 10 млн т/год; площадь спекания — 330 м ² ; высота слоя — 670 мм; число вакуум-камер — 21; расход влажных материалов, т/сут: руда — 7660, известняк — 1090, известь — 170, коксик — 410, возврат — 1770, пыль — 390, окалина — 470, серпентин — 310, остальные — 1300. Характеристика АФ-2: производство агломерата — 9600 млн т/год, влажной усредненной шихты (содержащей 4 % пыли, 4 % конвертерного шлака, 2 % окислы, 4 % остальное) — 10200 т/сут, извести — 120 т/сут, влажного кокса — 310, возврата — 620, никелевого шлака — 70, воды в окомкователь — 230 м ³ . Площадь спекания — 210 м ² , высота слоя — 660 мм, число вакуум-камер — 15.			

Установлено, что температуры в некоторых элементах газоотводящего тракта идеально подходят для процесса образования ПХДД/Ф — De Novo синтеза. В последних вакуум-камерах тем-

пература газа составляет 250–450 °С и реакция De Novo может произойти на частицах пыли, в том числе осажденных на внутренней части коллатора или газоочистного устройства (рис. 7).

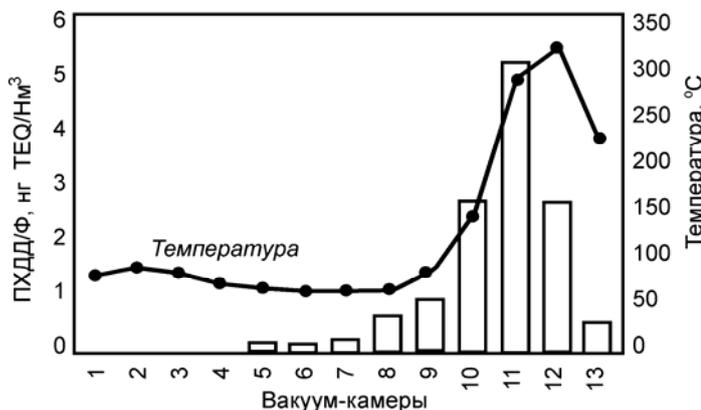


Рис. 7. Профиль температуры отходящих газов и содержания ПХДД/Ф по длине агломашины

Даже в случае, если эти соединения будут ликвидированы при разложении в спекаемом слое шихты, есть вероятность того, что они могут становиться предшественниками процесса De Novo синтеза.

Основные условия, необходимые для синтеза ПХДД/Ф, следующие: наличие твердого углерода с несовершенной или вырожденной графитовой структурой, наличие неорганического хлора, ионов меди или железа, других металлов, окислительной атмосферы и температуры в диапазоне 250–450 °C. Большинство из этих факторов имеет место в процессе агломерации, следовательно, значительная часть ПХДД/Ф образуется в процессе спекания через De Novo синтез.

Проведенные исследования показывают, что образование ПХДД/Ф происходит в основном в пределах слоя спекаемой шихты, а не в отходящих из него газах, как это обычно происходит в установках для сжигания бытовых отходов.

Общепринятое объяснение профиля выбросов диоксинов/фуранов состоит в том, что ПХДД/Ф образуются в слое под зоной горения топлива, а затем конденсируются в нижележащих слоях холодной шихты. По мере движения фронта горения топлива ПХДД/Ф вновь испаряются, захватываются газом и перемещаются вниз по его высоте до момента, пока исчезает зона холодной шихты.

Представления об этом механизме поддерживаются результатами прерванных по ходу процесса опытов, проведенных во Франции, где было показано, что ПХДД/Ф сосредоточены в более холодных частях слоя.

Концентрационные профили 17 искомым предшествующих соединений оказались одинаковыми для всех аглофабрик Великобритании, несмотря на различия в составе сырья. При исследованиях формирования ПХДД/Ф на аглофабриках по всей Европе установлено, что однородные профили этих соединений в отходящих газах, по существу, одинаковы, независимо

от фактической концентрации представителей того же рода в этих газах.

Полихлорированные бифенилы (ПХБ)

ПХБ могут быть сформированы при тех же условиях, что и при описанных выше для ПХДД/Ф. Тем не менее в процессе их формирования сцепления колец фенила не происходит. В последующей реакции ПХБ может пройти замыкание кольца с получением ПХДФ, но не ПХДД. Полихлорированные бифенилы также могут присутствовать и в сырьевых материалах.

Концентрация ПХБ в коксовой мелочи и железной руде составляет около 1,0–1,6 мг/т агломерата. Существует вероятность того, что ПХБ могут быть разрушены в зоне горения топлива. Кроме того, ПХБ являются относительно неустойчивыми и могут быть удалены из слоя, когда материал нагревается газообразными продуктами сгорания ниже зоны горения. Данные об удельных выбросах ПХБ приведены ниже:

	Единицы измерения	Пределы
ПХБ* ¹	мг ΣПХБ/т агломерата	1–13
ПХБ* ²	нг/т агломерата	25–78
ПХБ* ²	нг/м ³	0,01–0,09* ³

*¹ Сумма всех ПХБ по 5 факторам, данные по двум аглофабрикам.
*² Среднегодовые данные.
*³ Рассчитано для расхода отходящих газов 2100 нм³/т агломерата.

Анализ отходящих газов агломерационных установок показал, что имеются разновидности ПХБ, приведенные ниже:

Представители ПХБ* ¹	Химическое наименование
77	3,3', 4,4' – ТХБ
115	2,3', 4,4', 5
105	2,3,3', 4,4'
126* ²	3,3', 4,4', 5

*¹ Данные Международного союза теоретической и прикладной химии.
*² Вклад в токсичность этого вида наиболее велик.
Примечание. Доля полихлорированных бифенилов в ПХБ составляет 5–10 % от общей токсичности диоксинов.

Выявленная тесная зависимость между ПХДД/Ф и ПХБ предполагает, что существует общая связь между процессами формирования этих соединений.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)

Реакции в слое спекаемой шихты являются очень сложными. Процесс горения топлива не является однородным и полностью завершённым, в результате чего вырабатывается значи-

тельное количество ПАУ. Данные, представленные в табл. 2, показывают, что среднегодовые выбросы ПАУ находятся в диапазоне 60–600 мг/т агломерата. Корреляции между концентрациями ПХДД/Ф и ПАУ не выявлено.

Дымы

Из дымовых труб аглофабрик часто выбрасываются видимые дымы, представляющие собой высокодисперсные аэрозоли с твердыми частицами пыли, не улавливаемой в батарейных циклонах или электрофильтрах. Примерно 40 % массы этой пыли представлено частицами железорудного концентрата крупностью менее 10 мкм.

Пыль с охладителей агломерата

После разгрузки с агломашины агломерат дробят, разделяют по фракциям на грохотах, охлаждают и транспортируют. Охлаждение агломерата в охладителях осуществляется с использованием значительного количества охлаждающего воздуха. При этом охладители агломерата, как правило, не полностью укрыты. Таким образом, во всех этих операциях имеют место значительные выбросы мелкодисперсной пыли.

Борьба с загрязнением воздуха осуществляется путем его аспирационного сбора от различных источников, очистки от пыли (с использованием рукавных фильтров или электрофильтров) с последующей утилизацией уловленной пыли путем включения ее в состав агломерационной шихты.

Теплоту воздуха охлаждения агломерата иногда используют в процессе спекания как с обеспыливанием, так и без него.

Часто горячий воздух, покидающий охладитель агломерата, очищают от пыли вместе с аспирационным воздухом из зоны разгрузки агломерата. По ограниченным данным, среднегодовой диапазон концентраций пыли в запыленном

В отходящих газах могут быть существенные концентрации SO_3 , которые обуславливают образование тумана (диспергированной жидкости). Смеси дыма, тумана и крупнодисперсной пыли могут формировать шлейф смога, чаще коричневого или сизого цвета.

Появление длинного горизонтального шлейфа смога, характерного для отходящих газов агломерационных фабрик, считается следствием эффекта ограничения испарения водяного пара серной кислотой в дыме. Увеличение концентрация SO_x в отходящих газах может быть связано с нестабильностью процесса спекания.

воздухе охладителей составляет 1–85 мг/м³, что соответствует 14–212 г/т агломерата.

Состав пыли в зоне разгрузки и с охладителя агломерата (вторичные выбросы) отличается от пыли агломерационной машины (первичные выбросы). В частности, в них нет выбросов хлоридов щелочных металлов и органических микрзагрязнителей, или они очень низкие, поэтому пыль может быть возвращена в аглошихту без каких-либо последствий.

Данные об удельных, системно контролируемых вредных выбросах на аглофабриках Европы (см. табл. 2) и российских аглофабриках следующие, кг/т агломерата: пыль — 0,04–0,56 и 1,05–2, 67; CO — 8,8–27 и 24,7–34,7; SO_2 — 0,20–0,97 и 1,68–2,2; NO_x — 0,3–1,0 и 0,49–0,62 соответственно.

Эти данные указывают направления совершенствования технологии агломерации и оснащения агломерационных машин современным газоочистным оборудованием по аналогии с подробно рассмотренным в цикле статей [1–9] опытом модернизации агломерационного производства на современных аглофабриках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 1. Подготовка компонентов агломерационной шихты к спеканию [Текст] / Ю. А. Фролов // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация". — 2017. — № 4. — С. 33–40.
2. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 2. Смешивание и окомкование агломерационной шихты [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 5. — С. 40–48.
3. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 3. Загрузка шихты и постели на агломерационную машину [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 6. — С. 22–31.
4. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 4. Внешний нагрев слоя спекаемой агломерационной шихты [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 7. — С. 31–41.
5. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 5. Газодинамическая работа агломерационных машин [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 8. — С. 21–32.
6. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 6. Тепловая работа агломерационных машин [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 9. — С. 29–39.

7. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 7. Качество агломерата [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 10. — С. 40–53.
8. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 8. Охлаждение агломерата на агломерационной конвейерной машине [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 11. — С. 32–42.
9. Фролов, Ю. А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 9. Анализ процесса охлаждения агломерата на линейном охладителе [Текст] / Ю. А. Фролов // Там же. — 2017. — № 12. — С. 18–27.
10. Андоньев, С. М. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии [Текст] / С. М. Андоньев, С. В. Филиппов. — М.: Металлургия, 1973. — 200 с.
11. Юсфин, Ю. С. Промышленность и окружающая среда [Текст] / Ю. С. Юсфин, Л. И. Леонтьев, П. И. Черноусов. — М.: ИКЦ “Академкнига”, 2002. — 469 с.
12. Мищенко, И. М. Черная металлургия и охрана окружающей среды [Текст] / И. М. Мищенко. — Донецк: ГВУЗ ДонНТУ, 2012. — 446 с.
13. Integrated Pollution Prevention and Control. Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Iron and Steel Production. Part 3. Sinter plants. European commission Directorate-general JRC. Joint research Centre. Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit European IPPC Bureau. April 2010.
14. Фролов, Ю. А. Агломерация. Технология. Теплотехника. Управление. Экология [Текст] / Ю. А. Фролов. — М.: Металлургиздат, 2016. — 672 с.
15. Фролов, Ю. А. Исследование влияния высоты слоя шихты на процесс агломерации [Текст] / Ю. А. Фролов, В. Н. Богатиков, Г. Е. Исаенко [и др.] // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. — 2010. — № 10. — С. 45–49.

УДК 622.788

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СПОСОБЫ ГРАНУЛЯЦИИ ТОНКОИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

*А. Ю. ХУДЯКОВ¹, канд. техн. наук; М. Н. БОЙКО², канд. техн. наук;
К. В. БАЮЛ¹, канд. техн. наук; baiul-konstantin@yandex.ru;
С. В. ВАЩЕНКО¹, канд. техн. наук; Н. В. ПОЛЯКОВА², канд. техн. наук; В. И. ПЕТРЕНКО¹
(¹ Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины,
² Национальная металлургическая академия Украины)*

Состояние и актуальность проблемы

В современной практике работы агломерационных фабрик отмечается устойчивая тенденция к увеличению объемов потребления тонкоизмельченных концентратов железных руд. Массовая доля этих материалов в железорудной части шихт постоянно растет и достигает на некоторых фабриках 100 %. Использование барабанных

грануляторов для окомкования тонкоизмельченных концентратов в большинстве случаев не дает положительных результатов. В созданных условиях задача разработки эффективных способов грануляции мелкофракционных агломерационных шихт требует скорейшего решения.

Анализ достижений и публикаций

Согласно имеющимся представлениям о механизмах формирования гранул [1], для окомкования агломерационной шихты во вращающемся барабане необходимо наличие двух фракций: комкующей (крупнее 1,6 мм) и комкуемой (мельче 0,4 мм). При этом комкующая фракция представлена относительно крупными частицами возврата и аглоруды, выполняющими роль зародышевых центров, на которые в процессе окомкования накатываются частицы мелкой фракции. В случае, когда шихта составлена из однородных тонких материалов (менее 0,07 мм), механизм окомкования не изменяется, но в от-

сутствие комкующей фракции роль зародышевых центров выполняют влажные комочки из комкуемой фракции. При использовании барабана-окомкователя часть шихты, не израсходованная на образование зародышей, накатывается на их поверхность в процессе грануляции.

Грануляцию тонких материалов для производства железорудных окатышей осуществляют в тарельчатых грануляторах. Для подготовки же к спеканию мелкофракционных агломерационных шихт тарельчатые грануляторы практически не используются. Вероятная причина заключается в том, что получение железорудных гранул

с максимальным размером 6–8 мм требует уменьшения высоты борта тарели гранулятора и сопровождается значительным снижением его производительности. Кроме того, для поддержания нужной комкуемости шихты обязательно обеспечение ряда условий: высокой удельной поверхности и гидрофильности материалов, точности дозирования компонентов, наличия пластификаторов [1].

Необходимость поиска новых способов окомкования привела к появлению ряда решений, часть которых так и не нашла широкого применения (вибрационное окомкование, окомкование во взвешенном состоянии и др.), в то время как другие, в особенности предварительная и принудительная грануляция, постепенно развиваются [2].

Способ предварительной грануляции заключается в разделении процесса окомкования на два этапа: сначала осуществляется грануляция части железорудного концентрата для получения зародышей окомкования, а затем проводится совместное окомкование зародышей и оставшейся шихты, при этом последняя накатывается на центры окомкования, т. е. происходит рост гранул. В работе [2] отмечено, что применение способа предварительной грануляции позволило при незначительном изменении расхода коксика и прочности агломерата поднять производительность агломерационной установки на 30 % в основном за счет увеличения газопроницаемости слоя шихты.

Принудительная грануляция тонкоизмельченных материалов отличается от рассмотренного выше способа природой уплотняющего воздействия и предполагает применение специального оборудования. Если при формировании гранул в барабанном и тарельчатом окомкователях перестройка структуры комочка осуществляется за счет использования его собственной кинетической энергии во время ударов о неподвижный слой материала и скатывания по рабочей поверхности гранулятора [1], то принудительная грануляция шихты происходит в прессовых агрегатах под воздействием внешней уплотняющей нагрузки (давления прессования).

В работе [3] описана одна из первых реализаций способа принудительной грануляции агломерационной шихты по схеме: брикетирование – сушка – дробление. В валковом прессе получали брикеты объемом 12 см³, которые затем дробили и отсеивали фракцию менее 2 мм. Подготовленная таким образом шихта состояла из гранул фракции 2–15 мм, а ее спекание по обычной технологии позволило повысить производительность агломерационных установок в 2,5–3 раза. Принудительная грануляция без дробления осуществлена авторами работы [4], которые формовали смесь мелкого возврата агломерационного производства со связующим и пластификатором путем продавливания через матрицу с диаметром фильер 5 мм. Применение данного способа позволило повысить прочность гранул на 8–32 % и увеличить производительность агломашин на 14,8–25,6 %.

Постановка задачи

Целью данной работы является определение наиболее перспективных направлений решения

проблемы подготовки к спеканию мелкофракционных агломерационных шихт.

Изложение материала и результаты

Для выполнения поставленной задачи были проведены опытные спекания мелкофракционных шихт, подготовленных тремя способами: предварительной грануляцией, принудительной грануляцией и окомкованием во вращающемся цилиндрическом барабане с гладкой рабочей поверхностью (базовый способ). В качестве параметров для сравнения рассматриваемых способов были приняты: гранулометрический состав окомкованного материала, газодинамические характеристики исходного спекаемого слоя, технологические характеристики процесса спекания и качество готового агломерата.

Предварительную грануляцию мелкофракционной шихты осуществляли по способу [5] в барабанном окомкователе модифицированной конструкции (рис. 1). Рабочая поверхность барабанного окомкователя выполнена в виде двух последовательно размещенных грушеподобных полостей: малой и большой. В малой, первой по ходу движения шихты, полости происходит образование зародышей окомкования фракции ~2–2,6 мм, а в большой — накат оставшейся части шихты на поверхность зародышей, рост и упрочнение готовых гранул; материал загружается отдельно в каждую полость.

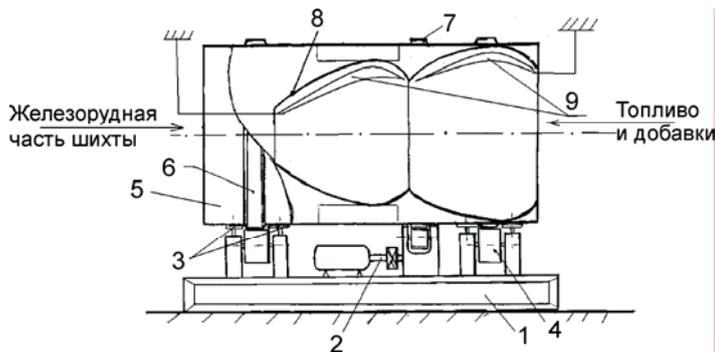


Рис. 1. Барабан-окомкователь с двусторонней загрузкой материалов:

- 1 — несущая рама; 2 — привод; 3 — упорные ролики;
4 — опорные ролики; 5 — барабан; 6 — бандаж;
7 — зубчатый венец; 8 — вставка;
9 — очистное устройство

Принудительную грануляцию осуществляли по способу [6], согласно которому крупность формируемых гранул ограничивают диапазоном

3–6 мм, а отношение диаметров гранул максимального и минимального размеров d_{\max}/d_{\min} устанавливают в пределах 1,25–2, при этом отношение среднего диаметра 1/3 массы гранул наименьшей крупности к среднему диаметру оставшейся части гранул $d_{(1/3\min)}/d_{(2/3)}$ поддерживают равным 0,8–0,95. Реализация способа предполагает использование прессового оборудования различной конструкции (валковый пресс, матричный пресс-гранулятор, шнековый экструзионный пресс) и не предусматривает дробления гранулированной шихты перед спеканием.

Шихта для гранулирования состояла из 80,5 % железорудного концентрата, 14,5 % известняковой пыли и 5 % топлива фракции 0–2 мм; влажность шихты составляла 10 %. Гранулометрический состав шихт, подготовленных тремя вышеописанными способами, и структурные характеристики спекаемого слоя представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЕВ ГРАНУЛИРОВАННОЙ ШИХТЫ

Номер способа*	Содержание фракции, %						$d_{\text{экв}}$, мм	V_d	d_{\max}/d_{\min}	$d_{(1/3\min)}/d_{(2/3)}$	ε , %
	0–1 мм	1–3 мм	3–5 мм	5–7 мм	7–10 мм	+10 мм					
1	19,4	34,2	26,3	10,7	5,8	3,6	3,3	0,77	>11	0,31	32,5
2	5,1	31,7	28,6	19,1	12,6	2,9	4,2	0,5	>11	0,55	38,1
3	—	—	70	30	—	—	4,6	0,18	1,5	0,84	48,8

* Здесь и далее условные обозначения: способ 1 — базовый способ; способ 2 — предварительная грануляция [5]; способ 3 — принудительная грануляция [6].

Из табл. 1 следует, что шихты, подготовленные базовым способом, характеризуются наименьшей из полученных в работе величиной эквивалентного диаметра частиц ($d_{\text{экв}} = 3,3$ мм) и максимальной степенью неоднородности распределения гранулометрического состава ($d_{(1/3\min)}/d_{(2/3)} = 0,31$; $d_{\max}/d_{\min} \approx 11$; содержание фракции 0–1 мм — 19,4 %). Применение альтернативных способов грануляции позволило улучшить эти показатели, при этом было установлено, что подготовка шихт методом принудительной грануляции эффективнее, чем подготовка методом предварительной грануляции: получены значения: $d_{\text{экв}} = 4,6$ мм и $d_{(1/3\min)}/d_{(2/3)} = 0,84$ против $d_{\text{экв}} = 4,2$ мм и $d_{(1/3\min)}/d_{(2/3)} = 0,55$ соответственно. Кроме того, для шихты, подготовленной по способу 3, отношение d_{\max}/d_{\min} было минимальным и составило 1,5.

В соответствии с предположением, сделанным в работе [6], исследуемые шихты принадлежат к трем различным группам классификации по величине коэффициента вариации крупности гранул V_d . Шихта, подготовленная по способу 1, характеризуется значением $V_d = 0,77$ и относится к максимально неоднородным, полидисперсным

шихтам ($1,0 \geq V_d > 0,7$). Шихта, подготовленная по способу 3, характеризуется значением $V_d = 0,18$, относится к шихтам с наибольшей степенью однородности гранулометрического состава ($V_d \leq 0,2$) и более других близка к монодисперсным смесям. Шихта, подготовленная по способу 2, занимает промежуточное положение с $V_d = 0,5$ и принадлежит к группе $0,7 \geq V_d > 0,2$.

Учитывая вышесказанное, полученные результаты измерения порозности слоев находятся в согласии с имеющимися представлениями о совокупном влиянии $d_{\text{экв}}$ и V_d на долю пустот в объеме слоя. Максимально неоднородная шихта с наименьшим эквивалентным диаметром гранул (способ 1) имеет наименьшее значение порозности $\varepsilon_1 = 32,5$ %; очевидно, что мелкие частицы фракции 0–1 мм заполняют значительную часть межкускового пространства и тем самым способствуют снижению порозности слоя. Наиболее однородная шихта с максимальным эквивалентным диаметром частиц (способ 3) характеризуется наибольшим значением порозности $\varepsilon_3 = 48,8$ %, а порозность шихты, подготовленной по способу 2, имеет среднюю из полученных в данной работе величину $\varepsilon_2 = 38,1$ %.

Определение газодинамических характеристик слоя проводили по методике, разработанной В.И. Коротичем и В.П. Пузановым [7], которые преобразовали основное уравнение движения газа в реальном слое (уравнение Дарси-Вейсбаха) к виду:

$$\Delta P = h\rho\omega(k_1\nu + k_2\omega), \quad (1)$$

где ΔP — потери напора газа, кН/м^2 ; h — высота слоя, м; ρ — плотность газа, кг/м^3 ; ω — скорость движения газа в слое, м/с; ν — кинематическая вязкость газа, $\text{м}^2/\text{с}$; k_1 (м^{-2}) и k_2 (м^{-1}) — коэффициенты газодинамического сопротивления

слоя, не зависящие от свойств и режима движения газа.

Измерение скорости фильтрации воздуха и соответствующих потерь напора для определения коэффициентов k_1 и k_2 (табл. 2) в уравнении (1) осуществляли с использованием крыльчатого анемометра на лабораторной агломерационной установке при высоте слоя в спекательной чаше 300 мм. Полученные экспериментальные и расчетные данные были использованы для составления зависимостей $\Delta P = f(\omega)$ и аналитического определения потерь напора газа в слоях исходной аглошихты, подготовленной к спеканию тремя исследуемыми способами (рис. 2).

ТАБЛИЦА 2. КОЭФФИЦИЕНТЫ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПОТЕРИ НАПОРА В СЛОЕ

Номер способа	Коэффициенты газодинамического сопротивления		Потери напора газа, кН/м^2
	$k_1 \times 10^5, \text{м}^{-2}$	$k_2, \text{м}^{-1}$	
1	9,19	33,28	$\Delta P = 4,983\omega + 12,031\omega^2$
2	6,31	12,45	$\Delta P = 3,421\omega + 4\omega^2$
3	5,18	2,73	$\Delta P = 2,809\omega + 0,985\omega^2$

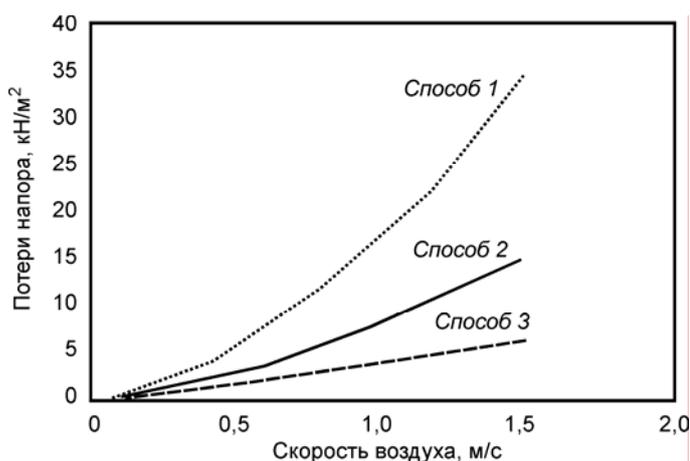


Рис. 2. Газопроницаемость слоев гранулированной шихты

Изучение изменения коэффициента газодинамического сопротивления λ в зависимости от условий движения газа в слое осуществляли с использованием выражений (2) и (3) [8]. Результаты представили графически в виде зависимости $\lg \lambda = f(\lg Re)$ на рис. 3.

$$\lambda = \frac{d_{eq} \Delta P}{2h\rho\omega^2}, \quad (2)$$

$$Re = \frac{\omega d_{eq}}{\nu}, \quad (3)$$

где λ — коэффициент газодинамического сопротивления; Re — число Рейнольдса.

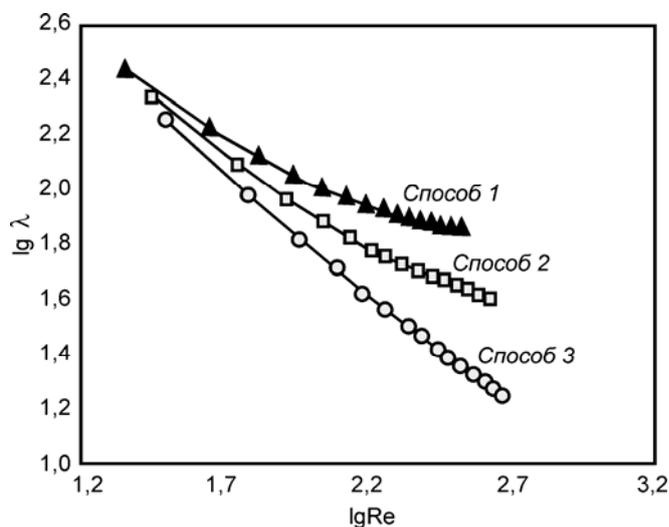


Рис. 3. Зависимость коэффициента газодинамического сопротивления слоев от числа Re

Проведенными исследованиями установлено, что до значений чисел Re менее 59 ($\lg Re_1 < 1,77$) для шихты, подготовленной по способу 1; менее 80 ($\lg Re_2 < 1,9$) — по способу 2, и менее 120 ($\lg Re_3 < 2,08$) для шихты, гранулированной по способу 3, зависимость $\lg \lambda = f(\lg Re)$ представлена прямыми линиями, наклоненными к оси абсцисс, следовательно, движение газа через слой подчиняется линейному закону. При превышении данных значений чисел Re

зависимости плавно переходят в кривые, стремящиеся принять положение, параллельное оси абсцисс; таким образом, наблюдается отклонение от линейного закона фильтрации. Указанные точки являются критическими значениями чисел Рейнольдса $Re_{кр}$ и отмечают переход ламинарного режима движения в неустойчивый турбулентный (переходный) режим. Полученный диапазон значений $Re_{кр} \approx 59-120$ соответствует существующим представлениям о характере движения газа в слое сыпучих материалов: по данным работы [9], переход к неустойчивому турбулентному режиму происходит при $Re_{кр} > 60$, а в работе [10] отмечается, что “принудительный переход” в турбулентный режим происходит при $Re_{кр} \approx 100-200$.

Подобный переход наблюдается и на графике $\Delta P = f(\omega)$: до значений скорости движения воздуха $\omega_{кр1}$ около 0,2–0,3 м/с (способ 1), $\omega_{кр2} \approx 0,3-0,4$ м/с (способ 2) и $\omega_{кр3} \approx 0,55-0,6$ м/с (способ 3) потери напора ΔP и скорость фильтрации воздуха связаны прямо пропорциональной зависимостью. При превышении указанных величин в потоке газа возникает турбулентность и связь $\Delta P = f(\omega)$ становится степенной.

Анализ кривых (см. рис. 2 и 3) показывает, что для шихты, подготовленной базовым способом 1, турбулизация газового потока начинается условно “раньше” ($Re_{кр1} \approx 59$; $\omega_{кр1} \approx 0,2-0,3$ м/с), а для шихты, подвергнутой принудительной грануляции по способу 3 ($Re_{кр3} \approx 120$; $\omega_{кр3} \approx 0,55-0,6$ м/с), “позже”, чем для остальных шихт. Очевидно, что поскольку в шихте, гранулированной по способу 3, отсутствуют мелкие частицы, которые заполняют пустоты между крупными частицами, извилистость каналов в слое наименьшая. Низкая извилистость каналов в сочетании с высокой порозностью обуславливают наибольшую

газопроницаемость слоя, составленного из данной шихты.

Таким образом, совместный анализ данных, представленных на рис. 2 и 3, дает основания сделать вывод, что принудительно гранулированная шихта (способ 3) характеризуется максимальной газопроницаемостью; шихта, окомкованная во вращающемся барабане (способ 1), — минимальной, а предварительно гранулированная шихта (способ 2) занимает промежуточное положение. Следовательно, для достижения одной и той же скорости движения газа в слое в случае с шихтой, подготовленной по способу 3, необходимо будет создавать наименьшее разрежение под колосниковой решеткой агломашины, а для шихты, подготовленной базовым способом 1, — наибольшее. Скорости фильтрации газа ω , равной 0,8 м/с, соответствует вакуум ΔP около 2,86 кН/м² (способ 3), 5,6 кН/м² (способ 2) и 10,79 кН/м² (способ 1).

Спекания исследуемых шихт проводили на лабораторной установке, включающей зажигаемый горн, агломерационную чашу, водокольцевой насос и контрольно-измерительные приборы, позволяющие фиксировать температуру газа на входе и выходе из слоя, а также разрежение под колосниковой решеткой. Прочностные характеристики агломератов оценивали по ДСТУ 3199-95.

В шихте использовали железорудный концентрат обогащения фракцией <0,074 мм, известняк и топливо фракцией 0–2 мм; расходные коэффициенты компонентов указаны ранее. Шихту с основностью 1,1 отн. ед. и влажностью 10 % спекали в слое высотой 300 мм на колосниковой решетке диам. 80 мм в вакуумном режиме. Результаты спеканий представлены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПЕКАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ШИХТ

Показатели процесса	Способ подготовки шихты к спеканию		
	1	2	3
Технологическая характеристика			
Выход годного, %	69,21	74,87	74,38
Удельная производительность, т/(м ² ·ч)	0,91	1,36	1,53
Вертикальная скорость спекания, мм/мин	18,67	22,16	24,3
Качество агломерата			
Прочность на удар (выход фракции +5 мм)	73,5	77,2	78,1
Прочность на истирание (выход фракции –0,5 мм)	4,8	4,5	3,7

Данные, приведенные в табл. 3, позволяют сделать следующие выводы. Применение способов предварительной и принудительной грануляции способствует увеличению вертикальной скорости спекания на 18,69 и 30,15 % соответственно, благодаря повышению исходной газопроницаемости слоя агломерационной шихты (см. рис. 2). Выход годного продукта при использова-

нии этих способов возрастает на 8,17 и 7,47 % по сравнению с базовым способом. Вероятно, это объясняется выравниванием распределения проходящих газовых потоков по сечению слоя, что способствует более полному, равномерному усвоению их тепла и протеканию химико-минералогических превращений в объеме шихты. Совместное влияние указанных факторов привело

к тому, что удельная производительность агломерационной установки при спекании шихты, подвергнутой принудительной грануляции, превысила аналогичный показатель для спекания

шихты, подготовленной базовым способом, на 68,13 %. При агломерации предварительно гранулированной шихты удельная производительность выросла на 49,45 %.

Выводы

Проанализировано влияние применения альтернативных способов грануляции на основные показатели процессов подготовки и агломерации мелкофракционных шихт. Установлено, что предварительная и принудительная грануляция шихт позволяют повысить порозность и газопроницаемость слоя, что способствует росту вертикальной скорости спекания и обуславливает увеличение удельной производительности агломерационной установки с 0,9 до 1,36 и 1,53 т/(м²·ч) соответственно. Принудительная грану-

ляция является наиболее эффективным способом подготовки шихт к спеканию, поскольку обеспечивает достижение лучших структурных, газодинамических свойств слоя и технико-экономических показателей процесса спекания. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка оптимального аппаратного оформления способа принудительной грануляции мелкофракционных агломерационных шихт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалёв, Д. А. Теоретические основы производства окускованного сырья [Текст]: учебное пособие для вузов / Ковалёв, Н. Д. Ванюкова, В. П. Иващенко [и др.]. — Днепропетровск: ИМА-пресс, 2011. — 476 с.
2. Yang, L. X. Sintering of blends containing magnetite concentrate and hematite or goethite ores [Text] / L. X. Yang, D. Witchard // ISIJ International. — 1998. — V. 38. — Is. 10. — P. 1069–1076.
3. Kempkes, M. Die Sinterung zwangsgekrumelter Erzmischungen [Text] / M. Kempkes, H. Schenck, W. Wenzel [et al.] // Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen. — 1967. — № 1852. — S. 10–26.
4. Пилюгин, Е. И. Сопоставление способов подготовки и использования мелкого возврата агломерационного производства [Текст] / Е. И. Пилюгин, В. В. Ожогин, В. Б. Семаков // Металл и литье Украины. — 2015. — № 1 (260). — С. 33–37.
5. Войтаник, С. Т. Конструкция и анализ эффективности работы нового барабанного окомкователя [Текст] / С. Т. Войтаник, Д. А. Ковалев, А. Ю. Худяков // Metallurgическая и горнорудная промышленность. — 2009. — № 1. — С. 100–104.
6. Худяков, О. Ю. Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності огрудкування агломераційних шихт [Текст] / О. Ю. Худяков, М. М. Бойко, Н. В. Полякова [и др.] // Системні технології: регіон. міжвуз. зб. наук. праць. — Дніпропетровськ: Системні технології, 2016. — № 5 (106). — С. 62–72.
7. Коротич, В. И. Газодинамика агломерационного процесса [Текст] / В. И. Коротич, В. П. Пузанов. — М.: Металлургия, 1969. — 208 с.
8. Щелкачев, В. Н. Подземная гидравлика [Текст] / В. Н. Щелкачев, Б. Б. Лапук. — Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001. — 736 с.
9. Готлиб, А. Д. Доменный процесс [Текст] / А. Д. Готлиб. — М.: Металлургия, 1966. — 503 с.
10. Тарасов, В. П. Теория и технология доменной плавки [Текст] / В. П. Тарасов, П. В. Тарасов. — М.: Интернет Инжиниринг, 2007. — 384 с.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЛИЧЕСТВА ЧУГУНА, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ ФУРМЕННЫЕ ОЧАГИ, ОТ ДИАМЕТРА ГОРНА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

В. Г. ДРУЖКОВ, канд. техн. наук; Э. М. МАНАШЕВА,
И. В. МАКАРОВА, канд. техн. наук, *m.irina1976@mail.ru*;
М. В. ПОТАПОВА, канд. техн. наук; В. А. ШАГАН

(ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»)

В горне доменной печи располагаются фурменные очаги — генераторы тепла и газов-восстановителей, без которых невозможно зарождение и протекание доменного процесса. Процессы в фурменном очаге всегда привлекали внимание исследователей. Отправным моментом явилось изучение процессов горения топлива по составу газа. Еще в 1844 г. Эбельман, сопоставляя состав газа в зонах горения нескольких доменных печей Франции, пришел к выводу, что пространство, в котором присутствует O_2 и CO_2 в газе, при работе на коксе значительно больше, чем на древесном угле [1].

В 1892 г. в Германии Фан-Флотен провел исследование процессов горения кокса в доменной печи с диаметром горна 3 м. Температура дутья составляла $700\text{ }^\circ\text{C}$. По длине фурменного очага было установлено постепенное повышение содержания CO_2 в газе до 11,8 % на расстоянии 600 мм от торца фурмы, протяженность окислительной зоны составила 1 м. В пространстве между фурмами отмечали содержание CO , H_2 , N_2 .

В США впервые данные о составе газа в фурменном очаге были опубликованы Кинни в 20-х годах прошлого столетия.

Наиболее тщательное исследование зоны горения выполнил Леннингс в 1927 г. в Германии на печи с рабочим объемом 525 м^3 , работавшей при температуре дутья $600\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$. Анализ состава газа по 500 замерам показал максимальное содержание CO_2 (11,5 %) на расстоянии 600 мм от торца фурмы, содержание CO и O_2 в этой точке составило 10 и 3,5 % соответственно. Кислородная зона (до 1 % O_2) распространялась до 0,8 м, а окислительная (до 1 % CO_2) — до 1 м. Был отмечен большой диапазон колебаний состава газа в одних и тех же точках радиуса и значительное разрыхление кокса перед фурмами протяженностью до 1 м. Газозаборную водоохлаждаемую трубу на этой части радиуса вводили в печь без особых усилий.

В СССР изучение процессов горения получило особенно большое развитие в 30-е годы XX в. Коллективы исследователей, возглавляемые Н.Н. Семеновым, А.С. Предводителевым, Л.Н. Хитриным и другими, разработали

принципиально новые теоретические разделы науки гомогенного и гетерогенного горения топлива. Естественно, в эти годы горение кокса в доменной печи не осталось без внимания.

Экспериментальные данные И.З. Козловича, З.И. Некрасова, Л.М. Цылева явились основой оценки влияния параметров дутья и качества кокса на протяженность фурменного очага и позволили М.А. Павлову провести аналогию между горением кокса в доменной печи и слоевым сжиганием твердого топлива. Действительно, изменения состава газа и температуры по высоте слоя кокса и по оси воздушных фурм были во многом идентичны. Например, при подаче холодного воздуха в слой коксовой насадки высотой 2,1 м протяженность кислородной зоны у стен распространялась до 600 мм. На этом уровне наблюдали максимум температуры ($1720\text{ }^\circ\text{C}$) и содержания CO_2 (17,3 %) в газе. В дальнейшем по высоте слоя содержание CO_2 в газе и его температура несколько снижались, а содержание CO увеличивалось (рис. 1, б).

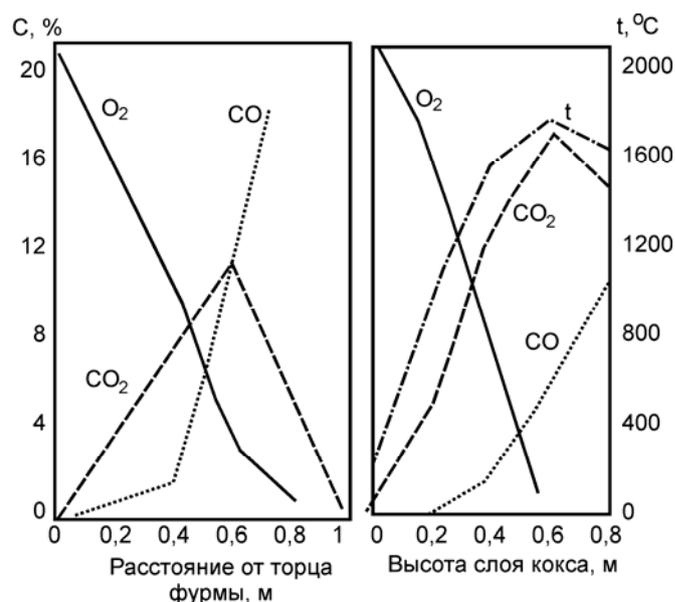


Рис. 1. Изменение состава газа от торца фурмы (а) и по высоте слоя кокса (б)

Кроме слоевого горения твердого топлива известно его факельное сжигание. При факельном горении легко регулируется соотношение между горючим и окислителем, получается любой требуемый по условиям технологии конечный состав газа, достигается необходимая полнота горения и температура.

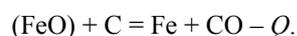
Напротив, при слоевом горении состав газа определяется параметрами дутья, качеством топлива, соотношением CO_2 и CO при слоевом горении топлива зависит только от температуры, оно уменьшается при увеличении температуры и, наоборот, увеличивается при более низких температурах горения.

Н.Н. Бабарыкин и Ф.А. Юшин проводили исследования изменений доменного процесса при работе на офлюсованном агломерате [2]. Особое место в данной работе занимает часть исследований фурменной зоны. В ней получены экспериментальные данные: средний вес пробы, средний химический состав металла и шлака из фурменной зоны. Полученные данные свидетельствуют, что основная масса металлов и шлака стекает в горн по периферийному кольцу шириной не более 2 м от стен печи объемом 1370 м^3 .

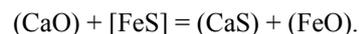
Расчет и использование данных Н.Н. Бабарыкина показали, что в доменной печи с диаметром горна 8 м при работе на обычном дутье около 30 % продуктов плавки сходило через фурменные очаги [3]. Необходимо уделить большее внимание исследованиям такого рода на печах различного объема, выявить зависимость количества чугуна, проходящего через фурмен-

ные очаги, от диаметра горна. При этом особое внимание необходимо уделить уточнению данных о доле чугуна, окисляющегося в фурменном очаге. Эта информация требуется при разработке математических моделей фурменного очага, горна и доменного процесса в целом. Степень окисления чугуна в фурменном очаге будет зависеть от параметров дутья (температуры, содержания кислорода, вида и расхода топливной добавки), места ввода топливной добавки, влияющих на окислительный потенциал фурменного очага.

Из вышесказанного следует, что при периферийном подводе дутья в горне перед фурмами имеются зоны с окислительной средой. Следовательно, часть сходящих продуктов плавки может попадать в них и окисляться. Повышенное содержание оксидов в шлаке нежелательно, так как реакция восстановления FeO идет с поглощением тепла:



Наличие FeO в шлаке может затруднить ход первого этапа процесса десульфурации чугуна согласно принципу Ле-Шателье:



Данных о количестве чугуна, проходящего через фурменные очаги, и степени окисления его составляющих мало (см. таблицу), они противоречивы, а в зависимости от диаметра горна их нет совсем [3].

ИНФОРМАЦИЯ О КОЛИЧЕСТВЕ ЧУГУНА, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ ФУРМЕННЫЕ ОЧАГИ, И СТЕПЕНИ ОКИСЛЕНИЯ ЕГО СОСТАВЛЯЮЩИХ [3]

Исследователи	Количество	Доля окисления составляющих чугуна, %
Манчинский В.Г.	Весь чугун	33–35
Левченко В.Е. и др.	Сход жидких продуктов плавки более интенсивен в межфурменных зонах	—
Бабарыкин Н.Н. и др.	Наибольшее количество чугуна и шлака стекает по периферии горна	—
Гончаров Б.Ф.	Наибольшее количество чугуна и шлака стекает по периферии горна	—
Кукаркин А.С. и др., Китаев Б.И. и др.	Расплавы чугуна и шлака проходят в горн преимущественно через межфурменные пространства и центральную часть горна	—
Готлиб А.Д.	Через единицу сечения фурменных очагов проходит вдвое больше чугуна и шлака, чем между ними	100
Паршаков В.М.	55 %	—
Федулов Ю.В.	75 %	—
Овчинников Ю.Н. и др.	15 % всего количества жидких продуктов плавки	—
Остроухов М.Я.	При наличии зоны циркуляции газовый поток мешает попадать струйкам чугуна и шлака внутрь ее в заметном количестве	—
Леннингс В.	—	17
Любан А.П.	—	Значительное количество
Круглов Н.Н.	—	10–25
Шаркевич Л.Д.	—	24–61

Условно продукты плавки можно разделить на две категории:

- жидкие продукты, не попадающие в зоны горения перед воздушными фурмами;
- жидкие продукты, орошающие фурменные очаги.

В первом случае предполагается, что мощный поток струи дутья и фурменных газов отбрасывает расплавы в пространство между зонами циркуляции или вглубь горна. Данное мнение подтверждается опытами, проведенными на лабораторных холодных моделях, которые не учитывают многообразие и сложный комплекс процессов, проходящих в фурменных очагах и на горизонте воздушных фурм в доменных печах.

Но многочисленные опыты, проведенные на горячих моделях, дают совершенно иные результаты. Гройель с сотрудниками на основании данных эндоскопических исследований утверждал, что через фурменные зоны движутся отдельные капли этих расплавов [4]. Исследователи Сабельса и Будзик утверждают, что опыты, проводимые на холодных моделях, не могут достоверно отразить картину орошения фурменных зон расплавами, так как не учитывают изменение вязкости расплавов в зависимости от температуры. На основании опытов, проведенных на горячих моделях, они делают вывод о том, что высоконагретые шлак и чугун фильтруются через кокс в периферийных зонах над фурменными очагами и непосредственно через сами зоны горения, несмотря на сильное воздействие фурменных газов. Проведенные ими опыты показывают, что жидкие продукты плавки фильтруются через зоны циркуляции на участках с особенно высокой температурой, так как имеют там наименьшую вязкость [5].

Авторы данной работы считают, что для выявления причин столь больших противоречий в результатах экспериментов и имеющихся данных, для установления точной зависимости количества чугуна и шлака, проходящих через фурменные очаги, от диаметра горна необходимо провести эксперименты с использованием методики и устройства, предложенных Н.Н. Бабарыкиным и Ф.А. Юшиным, на печах с различным полезным объемом $V_{п}$ и диаметром горна d_r , проплавливающих одинаковую шихту. Такими идеальными цехами являются “Северсталь” [печи объемом от 1150 ($d_r = 7$ м) до 5580 м³ ($d_r = 15,1$ м)], завод Фукуяма, Япония [печи объемом от 2400 ($d_r = 10,5$ м) до 4600 м³ ($d_r = 14,4$ м)] и др.

Но, к сожалению, Ассоциация доменщиков России не в состоянии организовать исследования такого рода. Поэтому в настоящей работе сделана попытка решить эту задачу аналитическим путем.

Зная диаметр горна и число воздушных фурм, определили площадь фурменного сектора и за-

висимость фурменного сектора от диаметра горна. Из рис. 2 видно, что площадь фурменного сектора увеличивается с ростом диаметра горна.

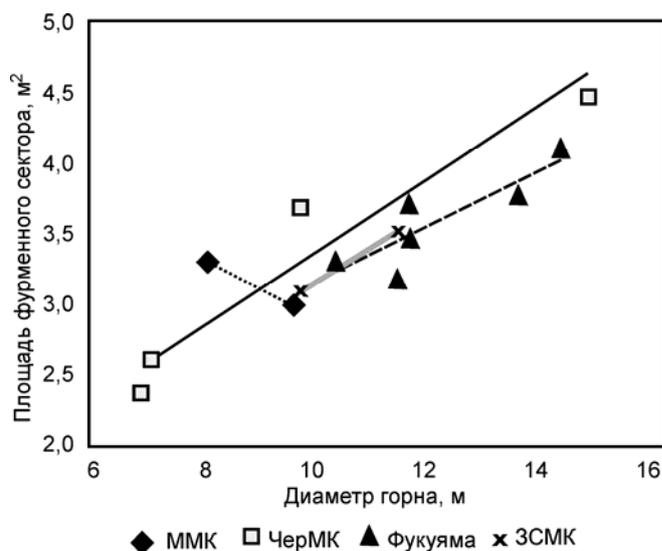


Рис. 2. Зависимость площади фурменного сектора от диаметра горна

Используя информацию о суточной производительности доменной печи и количестве фурменных секторов, рассчитали количество чугуна, приходящегося на фурменный сектор (рис. 3).

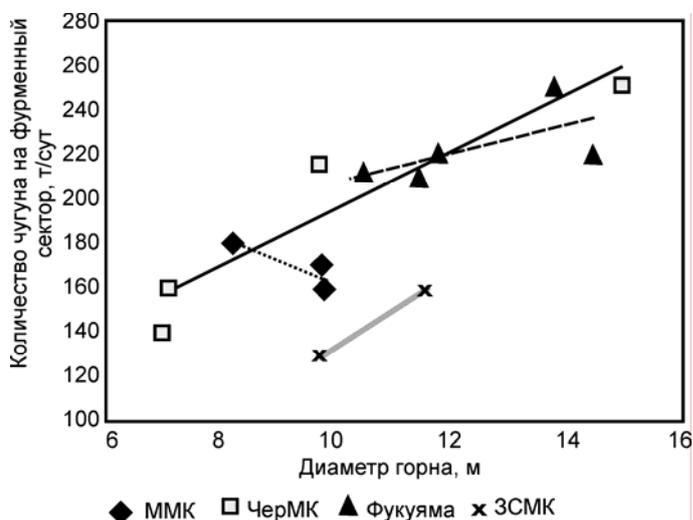


Рис. 3. Зависимость количества чугуна, проходящего через один фурменный сектор, от диаметра горна

Используя информацию о протяженности рыхлой части фурменного очага на упор и условившись, что проекция его на горизонтальную плоскость есть окружность с диаметром, равным протяженности рыхлой части, рассчитали площадь рыхлой части, которую представили в зависимости от диаметра горна (рис. 4).

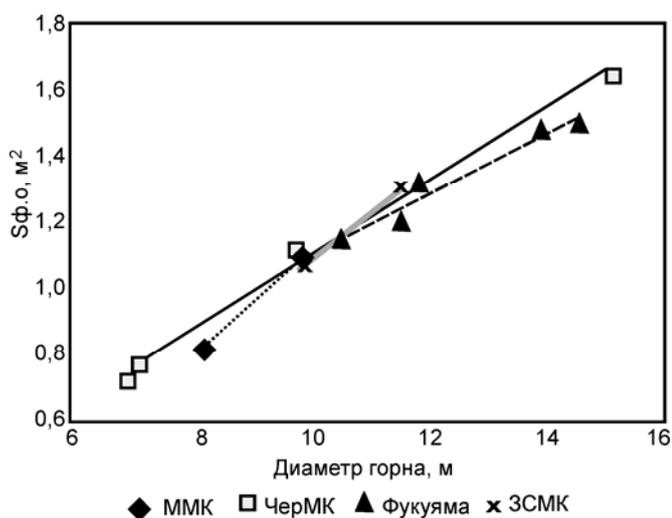


Рис. 4. Зависимость площади рыхлой части фурменного очага $S_{ф.о}$ от диаметра горна

Доля площади фурменного очага в секторе также растет (рис. 5). Так как в рыхлой части фурменного очага имеются окислители (O_2 , H_2O , CO_2), то составляющие попавшего туда чугуна будут окисляться. И чем больше чугуна проходит через фурменный очаг, тем больше окисление.

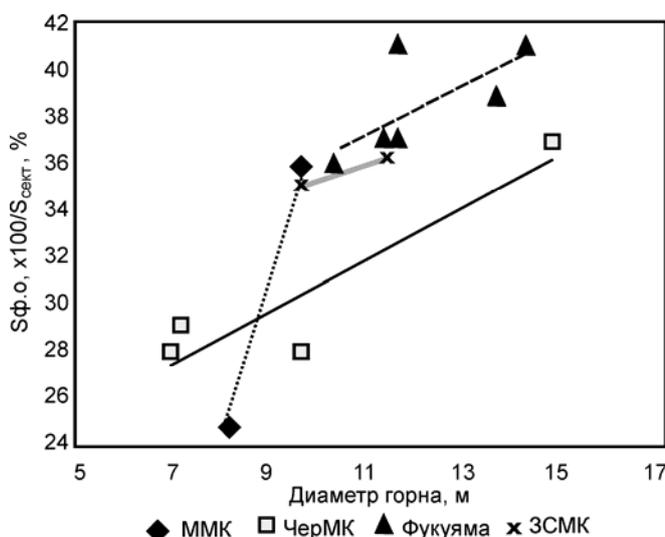


Рис. 5. Зависимость доли площади рыхлой части фурменного очага в площади фурменного сектора от диаметра горна

На рис. 6 по обобщенным данным четырех металлургических предприятий построена общая зависимость доли площади рыхлой части фурменного очага в площади фурменного сектора от диаметра горна.

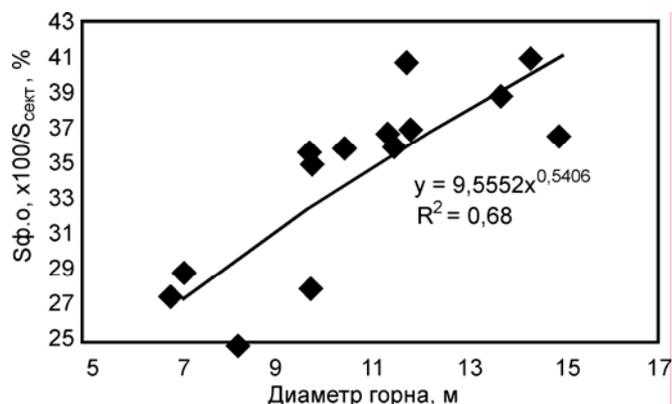


Рис. 6. Зависимость доли площади рыхлой части фурменного очага в площади фурменного сектора от диаметра горна по обобщенным данным четырех металлургических предприятий

Из рис. 6 видно, что с увеличением диаметра горна отношение площади рыхлой части фурменного очага к площади фурменного сектора увеличивается, но не прямо пропорционально, а

по кривой $S_{ф.о}/S_{сект} = 9,555d_r^{0,54}$.

Учитывая все вышеотмеченное, можно заключить, что доля проходящих через фурменные очаги расплавов будет увеличиваться пропорционально росту доли площади рыхлой части фурменного очага в фурменном секторе.

Ранее было посчитано, что при диаметре горна 8 м через фурменные очаги проходит около 30 % всех расплавов [3]. Отсюда можно найти коэффициент пропорциональности для функции: $m = k(S_{ф.о}/S_{сект})$, где k — коэффициент пропорциональности; m — доля расплавов, проходящих через фурменные очаги, %. Подставив в формулу выявленную зависимость, получаем, что коэффициент пропорциональности $k = 1$. Следовательно, зная, что $m = k(S_{ф.о}/S_{сект})$, получим

зависимость $m = 9,555d_r^{0,54}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федулов, Ю. В. Оптимизация хода доменной плавки [Текст] / Ю. В. Федулов. — М.: Металлургия, 1989. — 152 с.
2. Бабарькин, Н. Н. Изменение доменного процесса при работе на офлюсованном агломерате [Текст] / Н. Н. Бабарькин, Ф. А. Юшин // Сталь. — 1958. — № 12. — С. 1057–1065.
3. Дружков, В. Г. Интенсивность движения и окисления продуктов плавки в фурменном очаге горна [Текст] / В. Г. Дружков, И. Е. Прохоров // Там же. — 1996. — № 9. — С. 11, 12.
4. Гройель, М. Исследование движения материалов с помощью эндоскопа [Текст] / М. Гройель, Ф. В. Хильнхюттер, Х. Кистер [и др.] // Черные металлы. — 1974. — № 12. — С. 9–15.
5. Гончаров, Б. Ф. Технология производства и свойства черных металлов [Текст] / Б. Ф. Гончаров Сб. науч. тр. УкрНИИМ. — Харьков: ХГУ, 1958. — Вып. 4. — С. 77–102.

ОБЗОР И АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Д. Р. ГАНИН, *dmgan@mail.ru*; К. В. ЛИЦИН, канд. техн. наук;
Е. А. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук
(Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»)

В непрерывной разливке стали с 1962 г. используют защиту открытой поверхности металла в кристаллизаторе шлакообразующими смесями (ШОС) [1]. По сведениям 2013 г. автоматические системы подачи ШОС использовались более чем на 140 установках непрерывной разливки в Европе и Северной Америке [2], но на многих металлургических заводах России подача ШОС в кристаллизатор осуществляется вручную до сих пор, хотя в СССР еще в 1966 г. изобрели первое устройство для подачи порошкообразных шлаковых смесей в кристаллизатор в виде коллектора, установленного в верхней части кристаллизатора над мениском металла, представляющего собой замкнутую емкость с выходными отверстиями, ориентированными вовнутрь кристаллизатора [3]. В устройстве смесь из бункера подавалась шнеком в инжекционную камеру, где инжектировалась струей газов и по трубопроводу поступала к коллектору. В СССР впервые автоматическую подачу порошкообразной ШОС в кристаллизатор МНЛЗ применили на Донецком металлургическом заводе при отливке слябов сечением 150×(1000–1200) мм устройством, осуществляющим подачу материалов воздействием возвратно-поступательно движущегося кристаллизатора через механическую связь на исполнительный механизм подающего устройства [4, 5]. В устройстве ШОС из бункера поступает в кристаллизатор под действием шнека, приводящегося во вращение при воздействии исполнительного механизма на храповое колесо. Шток исполнительного механизма прижат к неподвижной опоре. При разливке кристаллизатор и связанные с ним детали, совершая возвратно-поступательное движение, при ходе вверх поднимают бункер. Шток упирается в зуб храповика, связанного со шнеком, и поворачивает его на определенный угол. Шнек захватывает материал

и, вращаясь, сбрасывает его в окно бункера на мениск металла в кристаллизаторе. При движении кристаллизатора вниз шток с собачкой остается на месте, а бункер со шнековым механизмом опускается вниз. В зависимости от скорости вытягивания заготовки меняется скорость качания кристаллизатора, а в соответствии с этим — скорость вращения шнека и расход ШОС.

Согласно работам [6, 7], устройства подачи ШОС различаются по:

- способу компоновки установки (моноблочная, многоблочная раздельная);
- типу привода установки (механический, электромеханический, пневматический, комбинированный);
- наличию функциональных блоков (блок накопления смеси, блок подготовки смеси, блок транспортировки смеси, блок дозировки смеси, блок распределения смеси по поверхности металла в кристаллизаторе);
- степени автоматизации.

В основном известны устройства для подачи ШОС в кристаллизатор, базирующиеся на:

- гравитационном способе подачи (смесь подается из бункера по системе трубопроводов, без движущегося рабочего органа);
- использовании в качестве импульса подачи ШОС режима возвратно-поступательного движения кристаллизатора;
- механическом способе подачи (обычно толкателями поршневого типа, шнековыми конвейерами, вибропитателями);
- пневматическом (пневмомеханическом) способе подачи [смесь перемещается в кристаллизатор под действием разрежения или избыточного давления воздуха (газа)].

Сведения о способах подачи ШОС в кристаллизаторы МНЛЗ на металлургических предприятиях Южного Урала приведены в таблице.

СВЕДЕНИЯ О СПОСОБАХ ПОДАЧИ ШОС В КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ МНЛЗ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА

Предприятие	Тип МНЛЗ		Число машин × ручьев	Подача ШОС
ПАО ММК	Слябовые	Криволинейные Криволинейные с вертикальным участком	4×2(4) 1×2, 1×1	Вручную Вручную Шнековая
	Сортовые	Радиальные	2×5	Вручную
ПАО ЧелМК	Слябовые	Криволинейные с вертикальным участком	2×1	Вручную
	Блюмовые	Радиальные	2×6 1×5	Пневматическая
АО «Уральская сталь»	Слябовая	Криволинейная с вертикальным участком	1×1	Вручную
	Комбинированная	Криволинейная	1×4	Вручную

Известно устройство, основанное на гравитационном способе подачи гранулированной смеси самотеком посредством трубопровода с самоплавящимися питателями, в котором бункер установлен сверху и сбоку от промежуточного ковша, а смесь самопроизвольно движется вниз по трубопроводу, попадая в кристаллизатор [8]. Медленная подача ШОС осуществляется распределительной трубкой, подплавляемой в области ее контакта с жидкой сталью и образующей зазор для выхода смеси. В кристаллизаторе уровень флюса регулируется за счет сохранения контакта с ним конца трубки. По мере расходования ШОС понижается ее уровень на поверхности, возникает зазор между уровнем флюса и концом трубки для его подачи. В системе в такой ситуации автоматически начинается подача ШОС до момента, когда снова не возникнет контакт смеси с концом подающей трубки, после чего подача ШОС прекращается автоматически.

Достоинства устройств, основанных на гравитационном способе подачи:

- саморегулирование подачи ШОС в кристаллизатор;
- гибкость при размещении оборудования;
- возможность подачи смеси сразу на несколько ручьев;
- снижение расходов на упаковку, транспортировку, потери смеси за счет ее поставки в больших мешках;
- улучшение экологии на разливочной площадке за счет уменьшения запыленности.

Недостатки устройств:

- систему подачи нельзя установить вблизи кристаллизатора, так как расположение МНЛЗ, конструкция промежуточного ковша не обеспечивают необходимого пространства для нужного угла подачи ШОС;
- жесткий трубопровод затрудняет работу персонала.

Примером устройства, базирующегося на использовании в качестве импульса подачи ШОС режима возвратно-поступательного движения кристаллизатора, является устройство для по-

дачи ШОС в кристаллизатор [9], изображенное на рис. 1. В нем пятка толкателя 4 соприкасается с плитой 5 механизма качания кристаллизатора, а количество порций ШОС, подаваемой шлакоподводом, определяется частотой качания кристаллизатора.

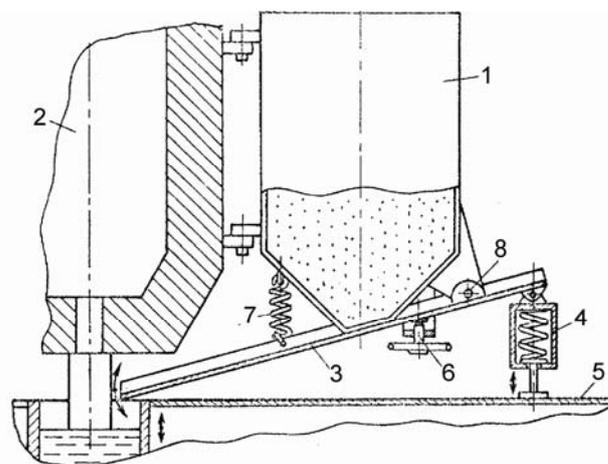


Рис. 1. Устройство для подачи ШОС в кристаллизатор [9]:

- 1 — бункер; 2 — промежуточный ковш; 3 — лоток; 4 — пружинный толкатель; 5 — плита; 6 — регулятор амплитуды качания лотка; 7 — пружины; 8 — оси

Достоинствами устройств, базирующихся на использовании в качестве импульса подачи ШОС режима возвратно-поступательного движения кристаллизатора, являются:

- простота конструкции;
- надежность оборудования.

Недостатки этих устройств:

- отсутствие возможности регулировать подачу смеси без изменения частоты или амплитуды качания кристаллизатора;
- невозможность прекращения подачи смеси без отключения движения кристаллизатора.

Разнообразны конструкции устройств, базирующихся на механическом способе подачи. На рис. 2 представлено устройство для подачи порошковых смесей в кристаллизатор МНЛЗ [10],

выполненное в виде систем 1 и 2, содержащих два бункера, из которых смесь самотеком попадает в приемное отделение дозирующего устройства, из которого пневмоцилиндрами 6 выталкивается в направлении лотков. На лотках и дозаторах 5 установлены вибраторы 9 для равномерности истечения и распределения смеси, а для возможности транспортировки к кристаллизатору 4 и отвода в нерабочее положение механизм установлен на тележке 3. Регулирование производительности дозаторов осуществляется изменением частоты подач порций смеси (в ручном режиме — пусковой кнопкой, в автоматическом — реле времени).

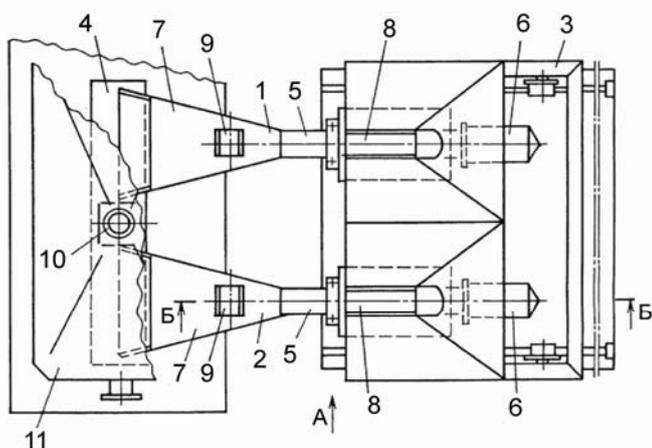


Рис. 2. Устройство для подачи ШОС в кристаллизатор [10]:

1 и 2 — одинаковые системы; 3 — тележка; 4 — кристаллизатор; 5 — дозаторы; 6 — пневмоцилиндры; 7 — шлаководы; 8 — окна; 9 — вибраторы; 10 — пульт управления; 11 — промежуточный ковш

В конвейерном устройстве для подачи порошковых смесей в кристаллизатор МНЛЗ [11], содержащем накопительный бункер, промежуточный бункер, шнековый конвейер для подачи ШОС в кристаллизатор, загрузка ШОС из накопительного бункера в промежуточный производится ленточным конвейером, а на шнековый конвейер из промежуточного бункера смесь поступает под избыточным давлением, создаваемым в промежуточном бункере.

На рис. 3 показано устройство для подачи порошкообразных материалов в качающийся кристаллизатор [12], содержащее бункер 1 для материала со шнековым питателем 2 и регулирующий механизм, включающий штангу-толкатель 3 с роликом 4 и упорами 5 и 6, двуплечий рычаг 7 и пневмоцилиндр 8, закрепленный на боку бункера. Ролик 4 под действием пружины 9 контактирует с крышкой качающегося кристаллизатора. На корпусе бункера закреплена ось 10 рычага 7. Нажимные ролики одного плеча имеют возможность взаимодействовать: один ролик 11 с одним из упоров 5 и 6, закрепленных на штанге-толкатель,

а другой ролик 12 входит в паз коромысла 13, установленного с возможностью свободного качания на оси питателя и несущего на себе ось собачки 14 храпового механизма. Храповое колесо 15 закреплено на оси питателя. Ролик 16 второго плеча двуплечего рычага имеет возможность взаимодействовать со штоком пневмоцилиндра 8, закрепленного на корпусе бункера. Сбросом давления воздуха прекращается нажатие штока пневмоцилиндра 8 на ролик 16 рычага 7, после чего пружина 9 через верхний упор 5 опускает штангу-толкатель 3 с закрепленным на ней роликом 4 на поверхность элемента качающегося кристаллизатора, обеспечивая с ним постоянный контакт. Через ролик 4, штангу-толкатель 3, нижний 6 или верхний 5 упоры качание кристаллизатора передается ролику 11 рычага 7. Ролик 12 рычага приводит в движение коромысло 13. Движение коромысла через собачку 14 преобразуется во вращательное движение питателя 2.

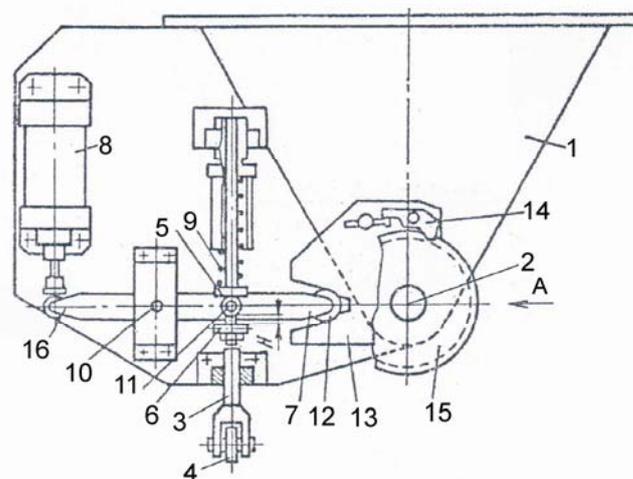


Рис. 3. Устройство для подачи порошкообразных ШОС в качающийся кристаллизатор [12]:

1 — бункер; 2 — шнековый питатель; 3 — штанга-толкатель; 4 и 16 — ролики; 5 и 6 — упоры; 7 — двуплечий рычаг; 8 — пневмоцилиндр; 9 — пружина; 10 — ось; 11 и 12 — ролики; 13 — коромысло; 14 — собачка; 15 — храповое колесо

Устройство для подачи ШОС в кристаллизатор [13] содержит два бункера, расположенных с противоположных торцов кристаллизатора, два шнековых конвейера для подачи ШОС на поверхность расплава, расположенных в трубах с щелевыми отверстиями, которые выполнены под углом к горизонту с регулируемой пропускной способностью. Бункеры выполнены с дозаторами и загрузочными устройствами, а на выходных концах труб расположены лотки, изменяющие угол наклона к горизонту и имеющие прорезы для высыпания ШОС. Для равномерного распределения ШОС по поверхности металла,

облегчения ее схода на конвейере служит вибратор.

На рис. 4 представлена схема устройства для подачи ШОС в кристаллизатор слябовой МНЛЗ при отливке слябов шириной до 1,8 м [14]. В устройство входит рама 1, на ней смонтирована тележка 2, несущая шнековый питатель 3 с расходным бункером 4 над ним. С помощью цепного привода 5 тележка имеет возможность относительного продольного перемещения. При отливке слябов меньших размеров изменением расположения концевых выключателей сокращают ход тележки. Управляют устройством вручную и автоматически.

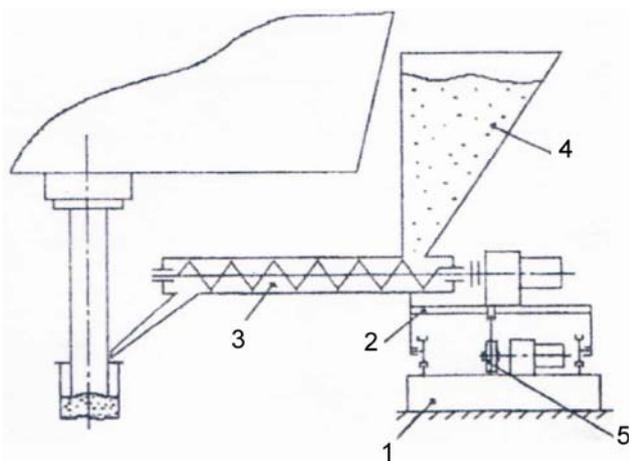


Рис. 4. Устройство для непрерывной дозированной подачи ШОС в кристаллизатор слябовой МНЛЗ [14]:
1 — рама; 2 — тележка; 3 — шнековый питатель;
4 — расходный бункер; 5 — цепной привод

По мнению авторов работы [15], в устройствах механизированного ввода ШОС в кристаллизаторы целесообразно применять гибкие спиральные шнеки, использование которых снизит материалоемкость механизмов.

В конвертерном цехе № 2 ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (НЛМК) при отливке слябов 1200–1800 мм [4] используется устройство для автоматической подачи гранулированной ШОС (рис. 5), прототипом которого, по видимому, служило запатентованное в США изобретение японских инженеров [16]. В устройстве подающий бункер снабжен двумя расположенными в трубах шнековыми питателями, в которые через щелевые отверстия подается смесь. Вращение шнекам передается через гибкое соединение от электромеханического привода. Электромеханический привод с помощью систем тяг, соединенных с питающими трубами, осуществляет перемещение труб по обе стороны от погружного стакана. Работой устройства управляют по программе с технологического компьютера. Конструктивно сходное устройство применяют на МНЛЗ № 1 конвертерного цеха ПАО «Северсталь» [17].

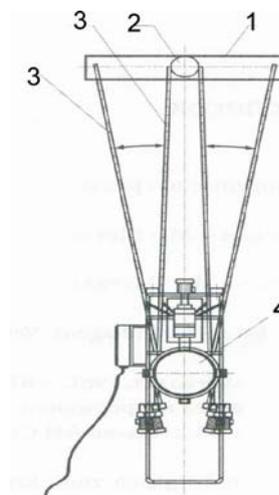


Рис. 5. Устройство для подачи ШОС, используемое в ПАО НЛМК [4]:
1 — кристаллизатор; 2 — погружной стакан;
3 — подводящая труба; 4 — бункер с ШОС

Достоинства шнековых устройств для подачи ШОС:

- конструктивная простота с механической точки зрения;
- высокая надежность шнековых конвейеров;
- обеспечение достаточно точного дозирования смеси;
- легкость, безопасность при обслуживании и ремонтах;
- относительно невысокая стоимость;
- транспортирование материала в закрытых желобах при незначительном пылеобразовании.

Недостатки шнековых устройств:

- необходимость их расположения вблизи от кристаллизатора для ограничения длины шнекового механизма;
- необходимость заполнения смесью небольших бункеров, что затрудняет обеспечение большого расхода смеси на многоручевой МНЛЗ;
- ухудшение доступа к кристаллизатору обслуживающего персонала;
- потребность в нескольких питающих устройствах со шнековым конвейером для подачи смеси в кристаллизатор в нескольких точках с целью равномерного распределения ШОС по зеркалу металла;
- необходимость совершения дозаторами движений поперек и вдоль кристаллизатора;
- повышенное истирание шнека и корпуса конвейера.

Устройства, базирующиеся на пневматическом или пневмомеханическом способе подачи, предполагают использование подачи ШОС аэрационным или механическим питателем в струе транспортирующего газа по трубопроводу из бункера, размещенного на удалении от кристаллизатора. При этом смесь перемещается в кристаллизатор под действием разрежения или избыточного давления воздуха. На рис. 6 изобра-

жена схема автоматического устройства для подачи ШОС, эксплуатирующегося с 1975 г. на заводе фирмы Nippon Steel (г. Оита, Япония), использующего воздушный насос, создающий при низком давлении смесь порошок – воздух [18].

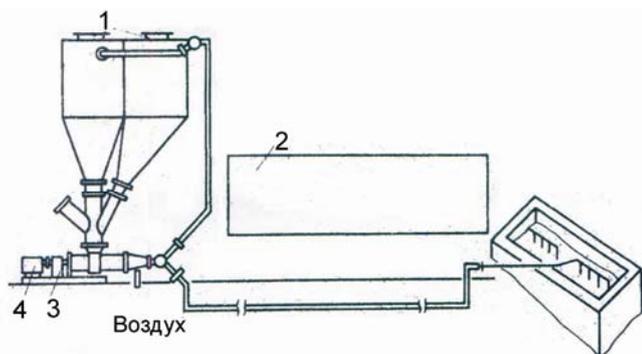


Рис. 6. Схема автоматического устройства для подачи ШОС [18]:

1 — бункеры; 2 — сушка порошка, предотвращение зависания, измерение уровня, управление давлением несущего газа; 3 — регулятор скорости; 4 — мотор

Известно устройство для подачи порошкообразных шлаковых и экзотермических смесей в кристаллизатор, содержащее бункер и инжекционную камеру, соединенную трубопроводом с соплом. Оно снабжено плоским экраном с ребрами, поворачивающимися вокруг своей оси, а сопло установлено под углом 5–7 град. к торцевой поверхности экрана, при этом ребра наклонены к вертикали в сторону сопла и выполнены переменной высоты [19]. В инжекционную камеру подается сжатый воздух, увлекающий за счет инжекции ШОС из бункера и транспортирующий ее по трубопроводу к соплу. Выходя из сопла, смесь воздуха и ШОС двигается вдоль экрана.

В устройстве фирмы Mannesmann-Wigard бункер с ШОС опирается на питающий желоб с газопроницаемым дном [4]. Проникновение в бункер горячего газа при подаче его в желоб образует “кипящий слой”, улучшающий перемещение смеси по желобу. От терморегулятора, нагревающегося от шлакового покрытия в кристаллизаторе на исполнительный механизм регулировки давления газа, поступает импульс, изменяющий темп подачи смеси за счет изменения давления газа.

В установленном на заводе Hilton Works устройстве фирмы Stelco, Канада [4], вакуумная система всасывает ШОС из основного бункера и по сигналам датчика, определяющего темп работы вакуумного устройства, подает ее в кристаллизатор.

На МНЛЗ № 6 ПАО “Магнитогорский металлургический комбинат” (ММК) было испытано устройство автоматической подачи ШОС, которое может быть оборудовано 2–6 линиями для подачи гранулированных смесей в один или несколько кристаллизаторов [2]. В приемный бун-

кер устройства материал самотеком поступает из контейнера, а каждая подающая линия транспортирует гранулят из бункера к соответствующему распределительному устройству посредством одного эжектора под давлением воздуха (азота) 0,2–0,5 МПа (рис. 7). Могут использоваться различные конструкции распределительного устройства, а для управления работой устройства служит пневматическая панель. При этом расстояние от кристаллизатора до бункеров не должно превышать 15 м.

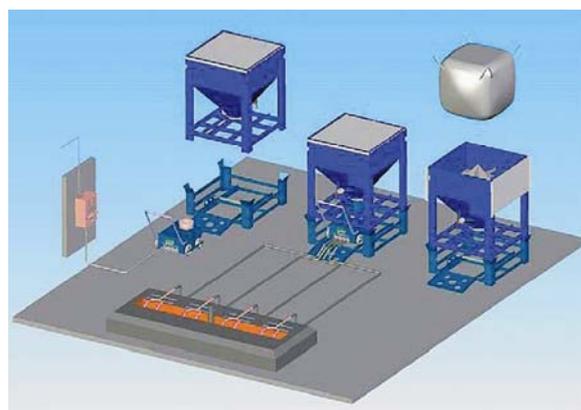


Рис. 7. Схема расположения устройства автоматической подачи ШОС Flux Feeder-3 [20]

Достоинства пневматических устройств для подачи ШОС:

- возможность размещения бункеров со смесью на расстоянии до 50 м от рабочего места;
- гибкость и относительная простота конструкции.

Недостатки пневматических устройств для подачи ШОС:

- потребность в подключении несущих сред (воздуха или аргона) и необходимость их осушки;
- необходимость наличия разветвленного трубопровода для ввода материала через несколько выходных отверстий по всему сечению металлоприемника;
- количество пыли в гранулометрическом составе ШОС не должно превышать 15 %;
- расслоение материала при использовании порошковых ШОС и запыление им разливочной площадки при ухудшении санитарно-гигиенических условий труда обслуживающего персонала.

В пневмомеханическом устройстве подачи ШОС в кристаллизатор слябовой МНЛЗ [20] преимущества пневматической и шнековой систем совмещены (рис. 8). Устройство содержит установленный на тележке 1 бункер 6 с ШОС, внутри которого смонтирован питатель, состоящий из электродвигателя 8 постоянного тока, червячного редуктора 7, чей тихоходный вал муфтой соединен с хвостовиком установленного в подшипниках вала 9, несущего шнек 10 на нижнем конце. В бункере находится часть витков шнека,

остальные — в смесительной камере 11, соединенной с транспортирующим трубопроводом 2. Радиальный вентилятор 12 подает одновременно воздух в трубопровод и полость бункера для создания избыточного давления. Пробковые краны 3 и 5 позволяют регулировать расход воздуха, идущего в трубопровод и полость бункера. Трубопровод состоит из жесткой части и гибкого рукава с патрубком на конце.

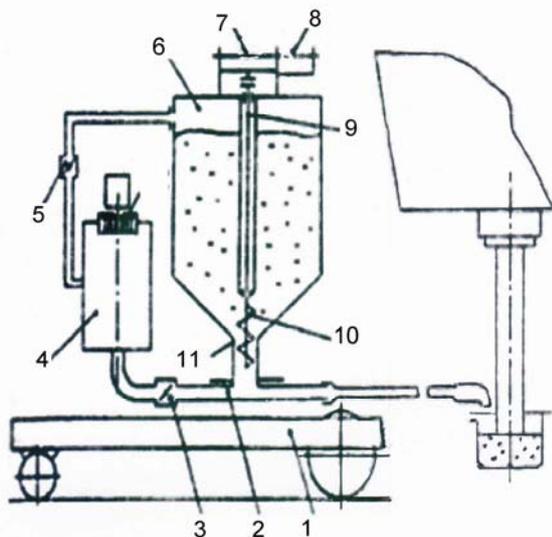


Рис. 8. Конструктивная схема пневмомеханического устройства дозированной подачи ШОС в кристаллизатор сортовой МНЛЗ [21]:

1 — тележка; 2 — трубопровод; 3 и 5 — пробковые краны; 4 — редуктор; 6 — бункер; 7 — червячный редуктор; 8 — электродвигатель; 9 — вал; 10 — шнек; 11 — смесительная камера; 12 — вентилятор

Регулировать подачу ШОС в кристаллизатор можно по: разности температур жидкого металла и шлака [21]; данным о нагрузке, вибрации [22]; усилию вытягивания непрерывнолитой заготовки [23]; цвету поверхности смеси в кристаллизаторе [4]; измерению толщины покрытия ШОС в кристаллизаторе [4, 24]. Перечисленные параметры взаимосвязаны между собой. Например, рост разности температур является сигналом об увеличении толщины слоя шлака, следовательно, расход смеси нужно уменьшать. Снижение разности температур приводит к уменьшению толщины слоя шлака, следовательно, необходимо увеличивать расход смеси. Реализация каждого из представленных способов может быть осуществлена на основе общей функциональной схемы. Отличия систем будут заключаться в датчиках и параметрах регулятора.

На основании обзора и анализа устройств и способов регулирования подачи ШОС в кристаллизатор МНЛЗ можно сделать вывод о том, что конструктивное исполнение, способ размещения устройств должны выбираться с учетом условий их применения (тип МНЛЗ, размеры и форма кристаллизатора, расположение технологического оборудования на рабочей площадке). Кроме того, от требований к размещению оборудования и возможности установки необходимых датчиков зависит выбор параметров для контроля расхода ШОС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов, А. Н. Непрерывная разливка стали [Текст]: учебник / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. В. Штепан. — Донецк: ДонНТУ, 2011. — 482 с.
2. Горосткин, С. В. Внедрение системы автоматической подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок [Текст] / С. В. Горосткин, В. Гартен // Новые огнеупоры. — 2013. — № 4. — С. 39–42.
3. А. с. 221235 СССР, МПК В 22 D 1/111. Устройство для подачи порошкообразных шлаковых смесей в кристаллизатор [Текст] / Е. И. Астров, В. В. Востоков, Д. П. Евтеев [и др.]. — № 1056144/22-2; заявл. 26.02.1966; опубл. 01.07.1968. Бюл № 21.
4. Куклев, А. В. Практика непрерывной разливки стали [Текст] / А. В. Куклев, А. В. Лейтес. — М.: Metallurgizdat, 2011. — 432 с.
5. А. с. 262330 СССР, МПК В 22 D 11/00. Способ дозирования сыпучих материалов [Текст] / А. М. Кондратюк, К. П. Мурзов, И. В. Поляков [и др.]. — № 1164925/22-2; заявл. 19.06.1967; опубл. 21.06.1973. Бюл. № 27.
6. Туманов, Д. В. Обзор устройств дозированной подачи порошкообразных и гранулированных материалов в проковши и кристаллизаторы машин непрерывного литья заготовок [Текст] / Д. В. Туманов, А. Л. Кузьминов // Череповецкие научные чтения—2014: материалы Всерос. научно-практич. конф. (11–12 ноября 2014 г.). Часть 3 (2): Естественные, экономические, технические науки и математика / отв. ред. К.А. Харахин. — Череповец: изд-во ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный университет», 2015. — С. 166–169.
7. Ганин, Д. Р. Механизация подачи шлакообразующих смесей в кристаллизатор МНЛЗ-2 АО «Уральская сталь» [Текст] / Д. Р. Ганин, А. В. Нефедов, М. И. Мурзич // Механическое оборудование металлургических заводов. — 2017. — № 1 (8). — С. 34–41.
8. Лякишев, Н. П. Развитие технологии непрерывной разливки стали [Текст] / Н. П. Лякишев, А. Г. Шалимов. — М.: ЭЛИЗ, 2002. — 208 с.
9. А. с. 1764790 СССР, МПК В 22 D 11/10. Устройство для подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор [Текст] / Е. Н. Суханов, Ю. В. Сосин, А. Н. Лазинцев. — № 4474824/02; заявл. 18.08.1988; опубл. 30.09.1992. Бюл № 36.

10. Пат. 2171157 Российской Федерации, МПК В 22 D 11/10. Устройство для подачи шлакообразующих смесей в кристаллизатор [Текст] / Ю. А. Сандальнев, В. В. Ведешкин, В. Г. Ордин, Ю. А. Алешин. – № 99114260/02; заявл. 29.06.1999; опубл. 27.07.2001. Бюл. № 21.
11. Пат. 4084628 США, МПК² В 65 В 3/10, В 22 D 11/11, В 22 D 11/108. Conveyor apparatus for delivering flux powder to the mold of a continuous casting installation [Text] / M. Schmid. – № 740926; заявл. 11.11.1976; опубл. 18.04.1978.
12. А. с. 1792797 СССР, МПК В 22 D 11/08. Устройство для подачи порошкообразных материалов в качающийся кристаллизатор [Текст] / В. Ф. Баевский, И. И. Мицельмахер. – № 4847863/02; заявл. 03.07.1990; опубл. 07.02.1993. Бюл № 5.
13. Пат. 2416488 Российской Федерации, МПК В 22 D 11/111. Устройство для подачи шлакообразующих смесей в кристаллизатор [Текст] / А. В. Куклев, И. Ф. Гончаревич, В. М. Паршин [и др.]. – № 2009136944/02; заявл. 07.10.2009; опубл. 20.04.2011. Бюл. № 11.
14. Пат. 96887 Украина, МПК В 22 D 11/10, В 22 D 11/08, С 21 С 7/076. Пристрій для безперервного дозованого подавання шлакоутворюючої суміші в кристалізатор слябової машини безперервного лиття заготовок [Текст] / С. П. Еронько, М. В. Ющенко. – № a201014774; заявл. 09.12.2010; опубл. 12.12.2011. Бюл. № 23.
15. Еронько, С. П. Экспериментальные исследования рабочих параметров спиральных шнеков для подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы МНЛЗ [Текст] / С. П. Еронько, С. В. Ошовская, М. В. Ющенко, Б. И. Стародубцев // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2014. — Т. 57. — № 9. — С. 33–39.
16. Пат. 4312399 США, МПК³ В 22 D 11/10. Flux powder supplying apparatus for continuous casting [Text] / Nishida Shinji, Ohtsuka Takashi, Satoh Mitsukuni, Kashimoto Satoru. – № 129383; заявл. 31.10.1979; опубл. 26.01.1982.
17. Туманов, Д. В. Методы и аппаратные устройства для ввода присадок в кристаллизатор [Текст] / Д. В. Туманов, А. Л. Кузьминов // Научно-технический прогресс в черной металлургии: материалы I Междунар. научно-технич. конф. (2–4 октября 2013 г.) / отв. ред. Л. А. Кузьминов. — Череповец: ФГБОУ ВПО “Череповецкий государственный университет”, 2013. — С. 357–363.
18. Исследование непрерывной разливки стали [Текст] / Под ред. Дж.Б. Лиина; пер. с англ. Брюссель, 1977. — М.: Металлургия, 1982. — 200 с.
19. А. с. 548363 СССР, МПК В 22 D 11/10. Устройство для подачи порошкообразных шлаковых смесей в кристаллизатор [Текст] / В. И. Лебедев, А. В. Лейтес, П. Н. Ткачев [и др.]. – № 2193335/02; заявл. 27.11.1975; опубл. 28.02.1977. Бюл № 8.
20. Еронько, С. П. Опыт конструирования систем дозированной подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы машин непрерывного литья заготовок [Текст] / С. П. Еронько // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. — 2011. — № 11. — С. 35–40.
21. А. с. 1294463 СССР, МПК В 22 D 11/06. Способ регулирования подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок и устройство для его осуществления [Текст] / Н. И. Шестаков, В. М. Паршин, Е. А. Нечаев [и др.]. – № 3928255/22-02; заявл. 12.07.1985; опубл. 07.03.1987. Бюл № 9.
22. Дидович, С. В. Эффективность использования современной системы подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор слябовой МНЛЗ [Текст] / С. В. Дидович, А. М. Столяров, Д. В. Юречко // Наука и производство Урала. — 2015. — № 11. — С. 61–65.
23. А. с. 925536 СССР, МПК В 22 D 11/16. Устройство автоматического управления режимом работы кристаллизатора машины непрерывного литья металла [Текст] / Б. И. Краснов, М. М. Туркин, А. Г. Уласов [и др.]. – № 2983200/22-02; заявл. 12.09.1980; опубл. 07.05.1982. Бюл № 17.
24. Система измерения уровня металла в сортовом кристаллизаторе МНЛЗ [Электронный ресурс] // URL: <http://www.technoap.ru/razlyvka/sium-s>.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВКИ, ФОРМИРУЮЩЕЙСЯ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*А. Б. БИРЮКОВ¹, д-р техн. наук, проф., birukov.ttf@gmail.com; А. А. ИВАНОВА², канд. техн. наук
(¹ ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”,
² ГУ “Институт прикладной математики и механики”)*

Со времени своего появления во второй половине XIX в. технология непрерывной разливки стали продолжает совершенствоваться. Одним из наиболее современных этапов развития данной технологии является интеграция МНЛЗ в состав литейно-прокатных агрегатов. При этом требования, предъявляемые к точности поддержания технологических параметров, становятся очень жесткими, что обусловило появление разнообразных систем диагностики различных элементов МНЛЗ.

Поскольку тепловые процессы играют особую роль в формировании непрерывнолитой заготовки, значительное внимание уделяется созданию систем мониторинга теплотехнических параметров на различных участках МНЛЗ.

Одной из важнейших задач является проведение оперативной диагностики теплотехнических процессов, протекающих в кристаллизаторе [1], поскольку кристаллизаторы МНЛЗ работают в условиях циклических интенсивных тепловых потоков, интенсивного износа, циклических термодинамических напряжений, разных типов эрозии и в большом диапазоне температур [2]. В настоящее время системы АСУТП практически всех МНЛЗ измеряют и регистрируют перепад температуры охлаждающей воды в кристаллизаторе. Результат этого измерения зачастую является единственным источником информации о текущем тепловом состоянии кристаллизатора и формирующейся в нем заготовки [3]. Одним из недостатков анализа этой величины является то, что она соответствует усредненному тепловому потоку через теплообменную поверхность кристаллизатора к воде. В реальности же теплосъем неравномерно распределен вдоль кристаллизатора [4]. Одним из вариантов решения этой проблемы является калориметрирование кристаллизатора, т. е. разбиение охлаждающих каналов, отвечающих за определенные участки поверхности, на ряд секций с отдельными подводами и отводами воды, регистрацией ее расхода и перепада температур [1]. Недостатком метода является громоздкость и сложность конструкции.

Также в настоящее время наметилась тенденция, когда для создания систем комплексной диагностики работы кристаллизаторов термодатчиками оснащаются серийные кристаллизаторы, например, путем приваривания или прижима термодатчиков к теплообменной поверхности кристаллизатора [2]. Существует ряд систем, включающих функции оценки теплового состояния при помощи термодатчиков. Одной из самых известных и типичных является система “Кристаллизатор” НПП ТЕХНОАП, предназначенная для использования на слябовых МНЛЗ.

Недостатком метода диагностики теплового состояния кристаллизатора при помощи термодатчиков является то, что их число и размеры ограничены. Кроме того, термодатчики чувствительны к электромагнитным полям, возникающим, например, в электромагнитных тормозящих системах или в мешалках. Также для защиты термодатчиков, включая их кабельную разводку, необходимы дорогостоящие предохранительные устройства.

В значительной мере названные проблемы решаются использованием для измерения температуры волоконных световодов, через которые пропускается свет лазера, и в ряде специально выделенных точек измерения по длине световода предусмотрена периодическая вариация показателя преломления, зависящая от температуры [5], однако в настоящее время такой подход еще не получил распространения.

Еще один способ диагностики, предложенный в работе [6], основан на углубленной расчетной интерпретации сигнала перепада температуры охлаждающей воды. Показано, что адекватное сравнение работы кристаллизаторов можно производить на основании таких величин, как средняя плотность теплового потока с поверхности заготовки в кристаллизаторе \bar{q} , среднее значение коэффициента теплопередачи в кристаллизаторе \bar{k} , средний коэффициент теплоотдачи от корочки заготовки к внутренней поверхности кристаллизатора $\bar{\alpha}$, эффективная толщина газового зазора $\delta_{эф}$. В этой работе предложены зависимости, позволяющие в режиме реального времени определять значения названных величин. В ча-

стности, контроль эффективной толщины газового зазора в режиме реального времени делает возможным оперативный контроль износа внутренней поверхности гильз кристаллизаторов, проверку соответствия конусности кристаллизаторов усадке заготовок, выбор наилучших кристаллизаторов для условий конкретного производства, установление взаимосвязи износа гильз

кристаллизаторов с образованием дефекта ромбичности.

Все названные способы диагностики теплового состояния заготовки в кристаллизаторе позволяют в некоторой мере идентифицировать условия теплообмена, однако сами по себе не дают ответа на вопрос о температурном состоянии корочки заготовки, формирующейся в кристаллизаторе.

Цель исследования

Целью данного исследования является разработка и опробование подхода, позволяющего производить моделирование теплового состоя-

ния заготовки, формирующейся в кристаллизаторе, с использованием системы диагностики теплотехнических процессов.

Методика исследования

Для расчетов принята математическая модель температурного поля поперечного сечения сортовой заготовки, учитывающая зависимость теплофизических характеристик металла от температуры [7]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{c(t)\rho(t)} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} \right) \right\}, \quad (1)$$

где τ — время; $t(\tau, x, y)$ — температура; $c(t)$ — удельная теплоемкость; $\rho(t)$ — плотность; $\lambda(t)$ — теплопроводность разливаемого металла. Сделано допущение, что распределение температуры симметрично относительно центральных продольных сечений слитка, параллельных граням. Задано начальное распределение температуры.

Положение ликвидуса l задается условием Стефана:

$$\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial \bar{n}} \Big|_{l_-} - \lambda(t) \frac{\partial t}{\partial \bar{n}} \Big|_{l_+} = \mu_l \rho_l \frac{\partial l}{\partial \tau}, \quad (2)$$

где \bar{n} — нормаль к линии ликвидус; μ_l — часть скрытой теплоты кристаллизации, выделяющаяся на фронте ликвидуса; ρ_l — плотность при температуре ликвидуса.

Соответственно, положение солидуса s задается условием:

$$\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial \bar{n}} \Big|_{s_-} - \lambda(t) \frac{\partial t}{\partial \bar{n}} \Big|_{s_+} = \mu_s \rho_s \frac{\partial s}{\partial \tau}, \quad (3)$$

где \bar{n} — нормаль к линии солидус; $\mu_s = \mu - \mu_l$, μ — скрытая теплота кристаллизации для данного вещества, ρ_s — плотность при температуре солидуса. Заданы начальные положения ликвидуса и солидуса.

В первом приближении было высказано предположение о целесообразности использования средней плотности теплового потока с по-

верхности заготовки в кристаллизаторе для задания граничных условий теплообмена на поверхности формирующейся корочки заготовки. Однако проведение соответствующих численных экспериментов дало результаты, не согласующиеся с реальным ходом процесса: корочка, образовавшаяся в районе мениска, тут же подплавляется, и устойчивое формирование корочки начинается с глубины порядка 200 мм от мениска. Причина этого заключается в том, что в начальный период формирования заготовки в кристаллизаторе в реальности плотность теплового потока существенно превосходит среднее для всего кристаллизатора значение этой величины, что обеспечивает начало устойчивого формирования корочки. Таким образом, попытка задания средней плотности теплового потока по всей поверхности заготовки в кристаллизаторе не правомочна.

Известно, что плотность теплового потока имеет максимум в районе мениска или на ближайших соседних горизонтах. Затем она уменьшается и имеет минимальные значения при выходе заготовки из кристаллизатора. Необходимо использовать такой способ задания граничных условий, который бы учитывал эту закономерность.

Анализ различных способов учета закономерности изменения теплового потока по высоте кристаллизатора показал, что для описания теплообмена в полости кристаллизатора наиболее правильным является использование граничных условий третьего рода на поверхности заготовки. В качестве температурного перепада необходимо использовать разницу температур поверхности корочки заготовки в кристаллизаторе и охлаждающей воды. Такой подход позволит достичь уменьшения плотности теплового потока по мере перемещения расчетного поперечного сечения заготовки в кристаллизаторе. Названная разность температур умножается на коэффициент, характеризующий передачу теплоты от поверхности заготовки в кристаллизаторе к охлаждающей воде.

Величины (предложенные в работе [6]) среднего значения коэффициента теплопередачи в кристаллизаторе \bar{k} и среднего коэффициента теплоотдачи от корочки заготовки к внутренней поверхности кристаллизатора $\bar{\alpha}$ не могут быть использованы для этой цели, так как \bar{k} описывает передачу теплоты от внутренней поверхности корочки заготовки, температура на которой равна температуре солидуса, а $\bar{\alpha}$ описывает передачу теплоты от наружной поверхности корочки заготовки к внутренней поверхности кристаллизатора.

Для решения поставленной задачи в данной работе предложено ввести понятие коэффициента теплопередачи от наружной поверхности корочки к охлаждающей воде. По своему физическому смыслу данная величина определяется как:

$$\bar{k}_{\text{пов}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_w} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{1}{\bar{\alpha}}}, \quad (4)$$

где α_w — коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности гильзы кристаллизатора к воде, Вт/(м²·К); δ_m — толщина стенки гильзы кристал-

лизатора, м; λ_m — коэффициент теплопроводности материала гильзы кристаллизатора, Вт/(м·К).

Поскольку в процессе работы системы диагностики определяются текущие значения полного коэффициента теплопередачи, рабочая зависимость для определения $\bar{k}_{\text{пов}}$ записывается как:

$$\bar{k}_{\text{пов}} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{k}} + \frac{\delta_k}{\lambda_k}}, \quad (5)$$

где $\bar{\delta}_k$ — средняя толщина корочки металла в кристаллизаторе, м; λ_k — коэффициент теплопроводности корочки заготовки при ее средней температуре, Вт/(м·К).

При этом значение \bar{k} определяется в зависимости от сигналов, предоставляемых датчиками, задействованными в системе диагностики (текущих значений перепада температуры охлаждающей воды в кристаллизаторе и ее расхода), по зависимостям, предложенным в работе [6]. Значение $\bar{\delta}_k$ в первом приближении задается на основании практического опыта. В случае необходимости эта величина может быть откорректирована по результатам моделирования.

Результаты исследования

Для тестирования разработки было проведено моделирование для сортовой заготовки с размером сечения 150×150 мм. В расчетах принята высота слитка внутри кристаллизатора 0,862 м, скорость разлива 3,5 м/мин. Рабочий расход воды на охлаждение кристаллизатора 2000 л/мин, средняя температура охлаждающей воды 35 °С. Для задания $\bar{k}_{\text{пов}}$ использованы усредненные данные о расходе охлаждающей воды на кристаллизатор и перепаде температуры охлаждающей воды на кристаллизаторе, полученные из тренда данных на ручье сортовой МНЛЗ. Определенное таким образом значение $\bar{k}_{\text{пов}}$ составляет 1320 Вт/(м²·К).

Результаты моделирования, представленные на рис. 1 и 2, хорошо согласуются с данными, полученными в производственных условиях.

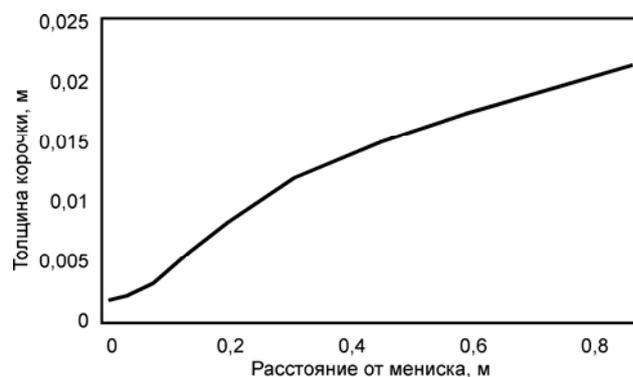


Рис. 1. Толщина корочки слитка по высоте кристаллизатора

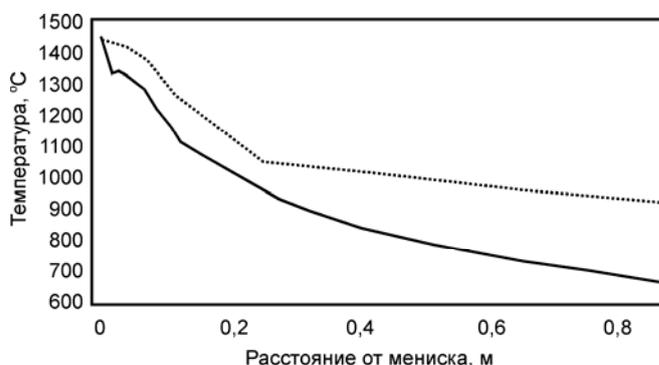


Рис. 2. Температура поверхности слитка по центру грани и углу

Обсуждение результатов

Целесообразным представляется использование данной разработки в системах АСУТП МНЛЗ в режиме реального времени для отслеживания динамики изменения состояния темпе-

ратурного поля слитка внутри кристаллизатора, а также толщины формирующейся в нем твердой корочки.

Выводы

Разработан подход, позволяющий производить моделирование теплового состояния заготовки, формирующейся в кристаллизаторе, с использованием системы диагностики теплотехнических процессов. Для задания граничных условий используются условия третьего рода, в кото-

рых задействована величина теплопередачи от наружной поверхности корочки к охлаждающей воде. Тестирование разработки с обработкой данных от датчиков системы АСУТП позволило получить результаты, хорошо согласующиеся с имеющимся экспериментальным материалом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бирюков, А. Б. Диагностика теплотехнических параметров работы кристаллизаторов МНЛЗ [Текст] / А. Б. Бирюков, А. А. Иванова // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация". — 2015. — № 2. — С. 49–54.
2. Смирнов, А. Н. Непрерывная разливка стали [Текст]: учебник / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. В. Штепан. — Донецк: ДонНТУ, 2011. — 482 с.
3. Mauder, T. Optimal control algorithm for continuous casting process by using fuzzy logic [Text] / T. Mauder, C. Sandera, J. Stetina // Steel Research International. — 2015. — V. 86 (7). — P. 785–798.
4. Калягин, Ю. А. Тепловые процессы в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок [Текст] / Ю. А. Калягин, С. В. Сорокин, Н. И. Шестаков. — Череповец: ЧТУ, 2004. — 293 с.
5. Пат. 2466822 Российской Федерации, МПК В 22 D 11/18. Измерение температуры в кристаллизаторе оптоволоконным способом измерения [Текст] / Д. Лифтухт, М. Арцберггер. Заявл. 7.07.2009. Опубл. 20.11.2012.
6. Birukov, A. V. Billet CC's mould heat engineering parameters monitoring system [Text] / A. V. Birukov // Metallurgical and Mining Industry. — 2014. — № 1. — P. 44–48.
7. Ткаченко, В. Н. Параметрическая идентификация, анализ и синтез систем управления технологическими процессами [Текст] / В. Н. Ткаченко, А. А. Иванова, А. Л. Красников [и др.]. — Славянск: изд-во ИПММ НАНУ, 2016. — 525 с.

Прокатное производство

УДК 621.771

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ПЛОСКОЙ СТАЛЬНОЙ ПОЛОСЕ ПРИ ЕЕ ПРАВКЕ В РОЛИКОВОЙ ПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЕ

Э. А. ГАРБЕР¹, д-р техн. наук, tamz2011@mail.ru; Н. Л. БОЛОБАНОВА¹, К. А. ТРУСОВ²
(¹ ФГБОУ ВО "Череповецкий государственный университет",
² ПАО "Северсталь")

Плоские стальные широкие полосы после горячей прокатки пропускают через роликовые правильные машины (РПМ), а затем отправляют машиностроительным предприятиям либо в рулонах, либо после разрезки на листы заданных размеров.

Машиностроительные предприятия используют горячекатаные листы для изготовления различных машин и механизмов, вырезая из них

требуемые детали. В последние годы, если необходимо выкроить лист по сложному контуру, используют эффективные высокопроизводительные установки лазерной резки, обеспечивающие высокое качество реза.

Однако применение этих установок затруднено тем, что в процессе лазерной резки происходит потеря плоскостности листов: лист, не имеющий неплоскостности, при резке приобре-

тает коробоватость или волнистость, причем отклонение от плоскости контрольной плиты нередко превышает требования, установленные стандартом или техническими условиями на поставку.

Предварительный анализ показал, что потеря плоскостности происходит из-за того, что в листах, идеально выправленных на РПМ, имеются значительные внутренние продольные напряжения, неравномерно распределенные по толщине и ширине. Максимальные их значения имеют место у наружных поверхностей листа, причем на одной из поверхностей они растягивающие, а на противоположной — сжимающие, т. е. по толщине листа они меняют знак. В процессе лазерной резки листа эти напряжения освобождаются, при этом поверхностные слои, в которых были сжимающие напряжения, увеличиваются в длине, а противоположные, растянутые поверхностные слои, наоборот, уменьшаются в длине. Этот процесс и приводит к потере плоскостности, так как внутренние напряжения неравномерно распределены не только по толщине, но и по ширине листа. Там, где перепад их по толщине больше, возникает большее отклонение от плоскостности: если оно находится в середине ширины, то на разрезанном листе возникает дефект “короб”, если оно находится в районе боковых кромок — дефект “волна”.

Практика работы листопрокатных цехов показала, что, несмотря на неуравновешенность по толщине и ширине продольных остаточных напряжений, листы, прошедшие через РПМ, не теряют плоскостности после их поперечной резки механическим способом (ножницами или пилами). Это объясняется тем, что стремлению к потере плоскостности препятствует упругое сопротивление, создаваемое поперечными нормальными напряжениями.

На рис. 1 показаны в качестве примера правый прикромочный участок поперечного сечения листа, имеющего тенденцию к образованию волнистости из-за неуравновешенности по толщине продольных напряжений, и схема распределения по толщине на этом участке поперечных напряжений.

Из схемы видно, что при отклонении боковой кромки листа от контрольной плиты в нем появляются поперечные упругие нормальные напряжения (снизу растягивающие, сверху сжимающие). Эти напряжения тем больше, чем больше кромка отклонилась от контрольной плиты, поэтому они способствуют сохранению плоскостности листа.

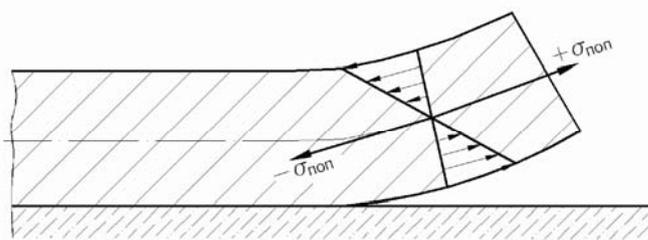


Рис. 1. Схема распределения поперечных нормальных напряжений в прикромочном участке полосы, имеющей волнистость, вызванную неравномерным распределением по толщине продольных остаточных напряжений

Когда же лист подвергается выкройке лазером на заданные размеры, из-за значительного нагрева зоны реза сопротивление поперечных напряжений уменьшается и вырезанное изделие теряет плоскостность.

Чтобы исключить потерю плоскостности при лазерной резке, исследовали влияние на внутренние продольные остаточные напряжения режимов настройки РПМ. Для этого потребовалась методика определения указанных напряжений в разных зонах по ширине и толщине листа. Анализ показал, что известные методы их измерения (механические, рентгеновские и др.) не обладают необходимой точностью или дают возможность измерить их только на наружных поверхностях листа, но не по всему объему.

Поэтому в данной работе использовали технологию компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) полосы в процессе правки на РПМ, применив один из основных методов моделирования — метод конечных элементов (МКЭ) [1, 2].

Достоинство этого метода заключается в том, что он позволяет определять НДС упругих, пластически деформируемых тел любой формы, по всему их объему с необходимой точностью, зависящей от числа конечных элементов, на которые разбивают это тело для моделирования, и от задания для модели граничных условий, максимально приближенных к граничным условиям реального объекта. В качестве среды моделирования был выбран известный программный продукт DEFORM-3D, ранее успешно использованный для расчета и оптимизации профилировок, упругих деформаций валков и поперечного профиля полосы на листовых станах [3].

Схематично процесс правки полосы на РПМ, имеющей 17 роликов, показан на рис. 2. Исправление неплоскостности полос на этой машине достигается знакопеременным упругопластическим изгибом, максимальным в первых роликах, постепенно уменьшающимся к последним [4].

Для этого, как показано на схеме рис. 2, а, кассета с верхними роликами наклонена назад, а кассета с нижними роликами находится в горизонтальном положении. На рис. 2 показана по-

лоса, входящая в первые ролики РПМ, имеющая неплоскостность в виде короба (схема б) или волны (схема в).

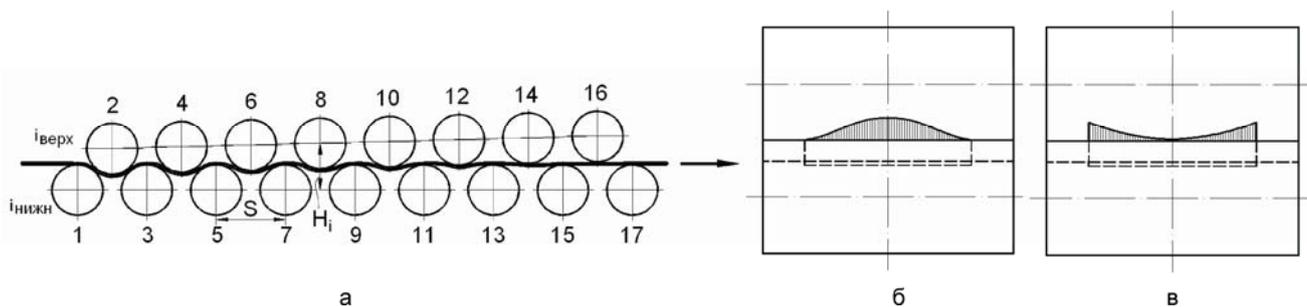


Рис. 2. Схема правки полосы на 17-роликовой листовой правильной машине:
 $i_{\text{верх}}$, $i_{\text{нижн}}$ — номера верхних и нижних роликов

Все особенности реального процесса правки полос на РПМ были учтены при моделировании. В качестве исходных данных использовали: механические свойства материала полос (предел текучести $\sigma_{0,2}$, модуль упругости E_n , коэффициент Пуассона ν_n); диаметры роликов РПМ (D_p), их шаг (S); расстояния по вертикали между осями верхних и нижних роликов (H_i , см. рис. 2, а); размеры выправленных полос (толщина h , ширина b); режим работы РПМ (скорость правки V , коэффициент трения между роликами и полосой).

Подготовка к моделированию НДС полосы в процессе правки на РПМ с применением программы DEFORM-3D состоит из трех этапов:

- создание в среде DEFORM-3D модели РПМ, в которой между верхними и нижними роликами размещена полоса;
- перемещение модели кассеты с верхними роликами вниз в рабочее наклонное положение так, чтобы максимальное перемещение имели первые ролики;
- задание вращательного движения всех роликов модели, в результате чего полоса через ролики начинает двигаться с заданной скоростью V за счет сил трения между ней и роликами.

Результат этих подготовительных этапов — начало моделирования процесса правки. Программа DEFORM-3D выдает изображение полосы, имеющей на входе короб или волну, амплитуды которых уменьшаются по мере прохождения полосы через ролики. Масштаб изображения известен, поэтому пользователь может определить величину амплитуды после каждого ролика и на выходе из РПМ.

Величины внутренних остаточных напряжений, их распределение по толщине и ширине полосы и изменение по мере прохождения ее через ролики РПМ программа выдает с помощью разных цветовых оттенков, расшифровываемых (для перевода в числовые значения) с помощью специальной шкалы.

Моделирование проводилось для трех вариантов исходной формы полосы: плоской, имеющей короб в середине и имеющей волну у боковых кромок; амплитуду исходной волны и короба варьировали в диапазоне 10–20 мм [5].

После пропуска через РПМ плоская полоса сохранила плоскостность, а у полос, имевших волнистость и коробчатость, амплитуда неплоскостности уменьшилась вплоть до 4 мм, что соответствует требованиям мировых стандартов.

Распределение остаточных напряжений по толщине и ширине полосы во всех трех вариантах оказалось существенно неравномерным.

В качестве примеров на рис. 3 приведены полученные в результате моделирования графики распределения остаточных напряжений в поперечных сечениях полосы на выходе из 17-го ролика для трех вариантов исходной формы полос: без неплоскостности, имеющей короб с амплитудой 20 мм и имеющей волну с амплитудой 10 мм. Данные рис. 3 подтверждают предварительный вывод о том, что правка на РПМ, устраняя неплоскостность, создает неравномерно распределенные по толщине и ширине полосы остаточные напряжения.

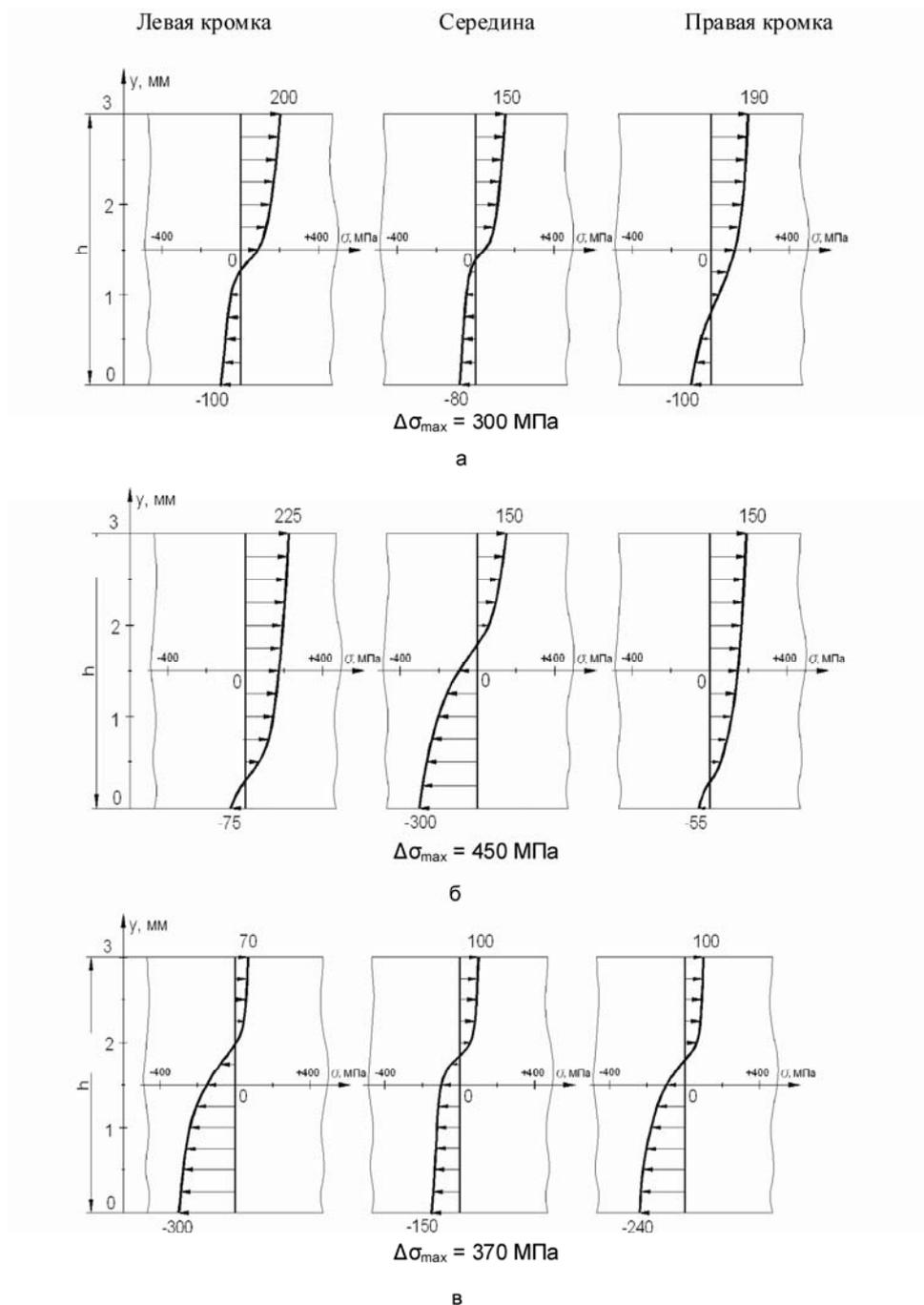


Рис. 3. Распределение остаточных напряжений по толщине полосы, МПа, в середине ширины, по левой и правой боковым кромкам, на выходе из последнего ролика РПМ:

а — исходная полоса плоская; *б* — исходная неплоскостность — короб с амплитудой 20 мм; *в* — исходная неплоскостность — волна с амплитудой 10 мм; *h* — толщина полосы; “+” — растяжение, “-” — сжатие

С учетом этого тем же методом был смоделирован процесс правки полосы в изгибо-растяжной машине (ИРМ), упрощенная схема которой показана на рис. 4.

Ее центральный блок, состоящий из роликов 1 и 2, аналогично роликам РПМ, осуществляет знакопеременный упругопластический изгиб полосы, тем самым уменьшая ее неплоскостность. Главное отличие ИРМ — наличие двух S-образных натяжных станций 3 и 4, создающих силами натяжений T_1 и T_0 растягивающие напряжения в полосе.

Задача моделирования состояла в том, чтобы установить, как влияет приложение растягивающих сил на плоскостность полосы и на распределение в ее объеме остаточных напряжений.

Предел текучести полосы принимали таким же, как при моделировании процесса правки на РПМ: $\sigma_{0,2} = 380$ МПа. Моделирование НДС полосы при правке на ИРМ выполнили для двух вариантов величины σ : в 1-м варианте $\sigma = 0,5\sigma_{0,2} = 190$ МПа, во 2-м — $\sigma \approx 0,8\sigma_{0,2} = 300$ МПа. Исходную неплоскостность задавали в виде короба с амплитудой 20 мм.

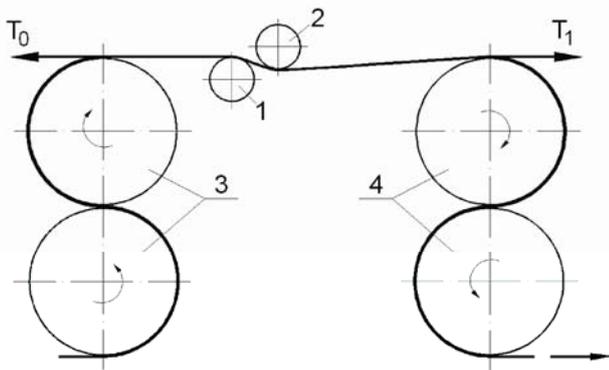


Рис. 4. Упрощенная схема изгибо-растяжной машины

В результате моделирования установлено существенное влияние растягивающих напряжений на уменьшение неплоскостности: после 2-го ролика амплитуда неплоскостности составила 5,2 мм (1-й вариант) и 4,5 мм (2-й вариант), а на выходе из ИРМ в обоих вариантах амплитуда не превысила 1 мм. Кроме того, приложение при правке на ИРМ растягивающих напряжений в корне меняет распределение остаточных напряжений по ширине полосы.

На рис. 5 показано распределение остаточных напряжений по толщине полосы на выходе из 2-го ролика, на участке между ним и натяжной станцией 4 (см. рис. 4), в том сечении, где при отсутствии растяжения перепад по толщине достигал 450 МПа.

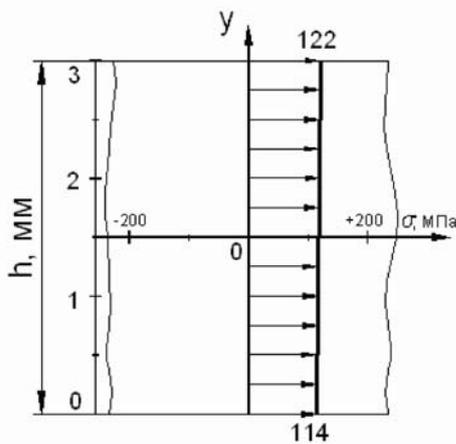


Рис. 5. Распределение по толщине продольных напряжений в полосе на участке между роликом 2 и натяжной станцией 4 ИРМ (см. рис. 4)

Как видно из рис. 5, напряжения по всей толщине являются растягивающими, участки с сжимающими напряжениями отсутствуют и перепад напряжений после ИРМ по толщине составляет 8 МПа. После выхода из ИРМ, когда действие растягивающих сил прекращается, напряжения по толщине изменяются от 0 до 6–10 МПа. При резке такой полосы вероятность потери плоскостности существенно снижается.

Таким образом, чтобы горячекатаные полосы, изготовленные с минимальной неплоскостностью, показатели которой соответствуют самым жестким стандартам, не теряли плоскостности при лазерной резке, необходимо в процессе их правки объединить знакопеременный упругопластический изгиб с продольным растяжением, создаваемым натяжными станциями.

Однако в ряде цехов без реконструкции оборудования это осуществить невозможно. Поэтому дальнейшие исследования состояли в том, чтобы установить возможность решения данной задачи только путем оптимизации настройки РПМ.

В качестве объекта исследований была выбрана действующая в производстве плоского проката ПАО «Северсталь» 15-роликовая РПМ марки LDM с диаметром роликов $D_p = 80$ мм и их шагом $S = 88$ мм. Схема ее настройки такая же, как показано на рис. 2, только в верхнем ряду последний ролик № 14, а в нижнем — № 15.

В качестве управляющего фактора настройки этой машины принята разность вертикальных перемещений 2-го и 14-го роликов:

$$\Delta = y_2 - y_{14}$$

Моделирование НДС полосы показало, что минимальный перепад продольных остаточных напряжений по толщине в середине и у боковых кромок листов дают варианты настройки, в которых $\Delta = 2-5$ мм. Исходя из этого, более детально исследовали шесть вариантов настройки РПМ, приведенных в таблице, на примере правки полосы толщиной $h = 3$ мм из стали S355MC со скоростью $V = 1$ м/с. Перепады продольных напряжений по толщине приведены в таблице в двух значениях: сразу на выходе из РПМ ($\Delta\sigma_{\text{прод}}$) и после упругой разгрузки материала полосы, которые меньше в 2–3 раза.

ВАРИАНТЫ НАСТРОЙКИ 15-РОЛИКОВОЙ РПМ МАРКИ LDM

($h = 3$ мм; сталь S355MC; $V = 1$ м/с)

Номер режима	Перемещения роликов, мм		Δ , мм	Перепад продольных напряжений по толщине, МПа	
	y_2	y_{14}		на выходе	после упругой разгрузки
1	4,0	2,0	2	260	85–130
2	5,0	3,0	2	300	100–150
3	5,0	1,0	4	160	35–80

Номер режима	Перемещения роликов, мм		Δ , мм	Перепад продольных напряжений по толщине, МПа	
	u_2	u_{14}		на выходе	после упругой разгрузки
4	5,5	1,5	4	370	125–185
5	5,0	0,5	4,5	390	130–195
6	5,0	0,0	5	340	115–170

Измерение неплоскостности полос, выправленных по вариантам таблицы, а затем разрезанных на установках плазменной резки, создающих тепловой эффект, аналогичный резке

лазером, показало, что отклонение от плоской формы не превысило 3–4 мм, что соответствует требованиям жестких мировых стандартов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О. Зенкевич; пер. с англ. — М.: Мир, 1975. — 542 с.
2. Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы [Текст] / Р. Галлагер; пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 428 с.
3. Гарбер, Э. А. Развитие методов моделирования профилировок и упругих деформаций валков листовых станков [Текст]: монография / Э. А. Гарбер, Н. Л. Болобанова. — М.: Теплотехник, 2005. — 120 с.
4. Целиков, А. И. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 3. Машины и агрегаты прокатных цехов [Текст]: учебник для вузов / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребник [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1988. — 432 с.
5. Гарбер, Э. А. Выявление и устранение причин потери плоскостности горячекатаных стальных листов в процессе их лазерной резки [Текст] / Э. А. Гарбер, Н. Л. Болобанова, К. А. Трусов // Производство проката. — 2017. — № 6. — С. 11–15.

Трубное производство

УДК 621.774

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ*

М. Ю. ЧУБУКОВ¹, *tecmat@yvtu.ru*; Д. В. РУЦКИЙ¹, канд. техн. наук;
Н. А. ЗЮБАН¹, д-р техн. наук; Д. П. УСКОВ²
(¹ ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
² АО «Волжский трубный завод»)

На настоящий момент крайне актуальными остаются вопросы по повышению уровня эксплуатационных характеристик бесшовных труб, используемых для строительства магистральных трубопроводов.

Для производства подавляющего большинства бесшовных труб групп прочности Х42–Х80 используются стали 10Г2ФБ, 13ГФА, 12Г2ФБ, 15ГБА и др., претерпевающие перитектическое превращение при кристаллизации. Бесшовные трубы из указанных сталей обладают требуемым комплексом свойств, однако имеют ряд недостатков, связанных с низким качеством поверхности готовых изделий вследствие претерпевания перитектической реакции при кристаллизации [1], а также недостаточно высоким уровнем эксплуатационных характеристик.

Одним из новых направлений в производстве бесшовных труб является применение доперитектических сталей 08Г2БМ, 06Г2ФБА и 06Г2ФБМ, позволяющих повысить уровень эксплуатационных характеристик продукции и качество поверхности непрерывнолитых заготовок.

Авторами работы [2] изучено влияние различных технологических параметров на качество поверхности доперитектических сталей. При этом показано, что за счет перевода марки стали в доперитектический класс, контроля уровня металла в кристаллизаторе, оптимизируя и контролируя работу первичного и вторичного охлаждения, можно добиться исключения поверхностных дефектов типа «трещин напряжения» при разливке непрерывнолитых слябов.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 1508098.

В работах [1, 3, 4] подробно рассмотрено влияние различных факторов на эксплуатационные характеристики низкоуглеродистых сталей. При этом результаты исследований авторов сводятся к необходимости обеспечения заданной ультрамелкодисперсной микроструктуры труб.

В настоящее время проводится достаточно много работ по оптимизации технологии производства бесшовных труб в части подбора оптимальных химических составов сталей и технологии их производства [5, 6] с целью повышения уровня эксплуатационных характеристик.

Цель исследования

Целью работы являлось исследование особенностей строения микроструктуры и морфологии карбидной фазы в низкоуглеродистых допе-

ритектических и перитектических сталях, используемых для производства бесшовных труб.

Объект исследования

Объектом исследования являлись бесшовные трубы размером $\text{Ø}426 \times 18-24$ мм из сталей 06ГФБА, 06ГФБМ и 10ГФБЮ. Трубы подверга-

лись горячей прокатке на стане поперечно-винтовой прокатки ТПА 159-426 и последующей термообработке.

Методика исследования

Для проведения исследований от труб вырезались микрошлифы. Металлографическое исследование проводили с использованием оптического микроскопа МЕТАМ ЛВ-41 и электронного сканирующего микроскопа FEI Versa 3D.

Рентгеноструктурный анализ поверхностных слоев осуществлялся в медном излучении на дифрактометре ДРОН-3. Микроструктура труб из рассматриваемых сталей приведена на рис. 1.

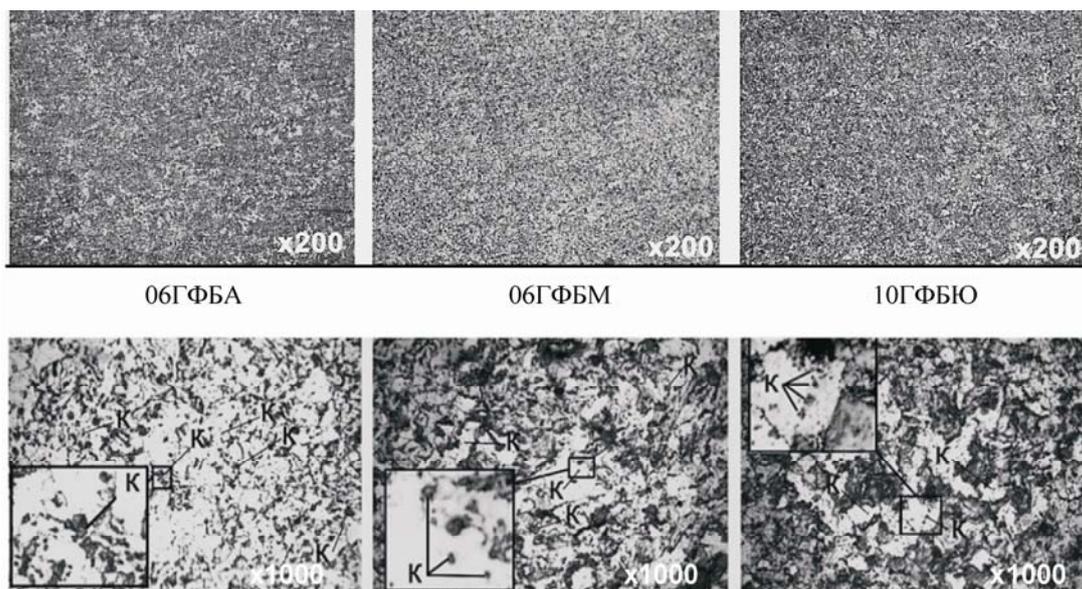


Рис. 1. Микроструктура исследуемых сталей

Результаты исследования и обсуждение результатов

Микроструктура исследуемых сталей представляет собой низкоуглеродистый зернистый сорбит с участками бейнита в ферритной матрице. Следует отметить, что в сталях 06ГФБА и 06ГФБМ по сравнению со сталью 10ГФБЮ меняется количественное соотношение фаз феррит/бейнит в сторону снижения бейнита в сталях

с более низким содержанием углерода. Кроме того, отмечается более равномерное распределение карбидной фазы в сталях 06ГФБА и 06ГФБМ, что обеспечивается системой легирования, включающей такие микролегирующие компоненты, как ванадий и ниобий.

Дополнительно были произведены замеры микротвердости по Виккерсу при нагрузке 50 г и увеличении $\times 350$ исследуемых образцов. Изменение микротвердости показало, что в стали 06ГФБМ микротвердость на 11 % выше, чем в стали 06ГФБА, и на 6 % выше, чем в стали 10ГФБЮ. Данный факт объясняется тем, что сталь 06ГФБМ дополнительно легирована молибденом, обеспечивающим в совокупности с марганцем легирование твердого раствора и его упрочнение.

Анализ микроструктуры с использованием оптической и электронной микроскопии (рис. 2) показал, что в рассматриваемых сталях присутствуют мелкодисперсные карбиды, расположенные в центре и по границам зерна. В стали 06ГФБМ наличие молибдена в количестве до 0,12 % способствует увеличению содержания специальных карбидов, выделившихся из твердого раствора в процессе проведения термообработки. В стали 10ГФБЮ также наблюдается большее содержание карбидов большего размера.

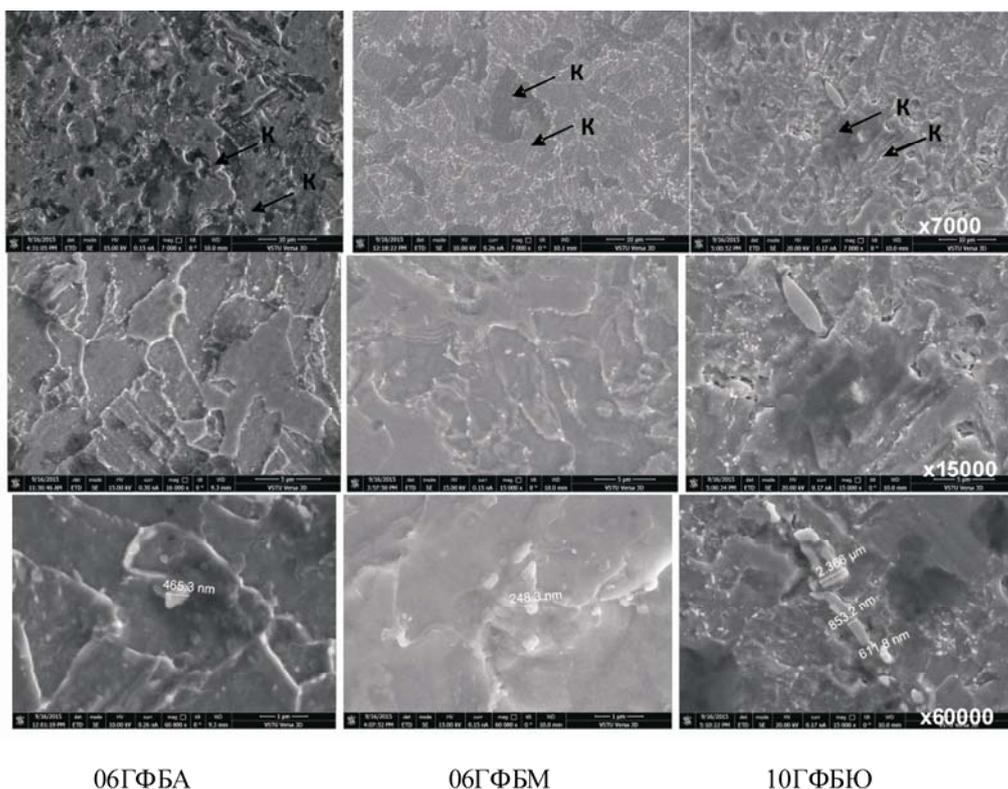


Рис. 2. Расположение и размер карбидной фазы

Карбиды в рассматриваемых сталях располагаются преимущественно в центре зерен. В стали 06ГФБА средний размер карбидов составляет 460–470 нм, в стали 06ГФБМ — в среднем 240–250 нм. В стали 10ГФБЮ большее содержание углерода (0,12 %) способствует увеличению содержания карбидов, а также их росту. В стали 10ГФБЮ размер карбидов составляет в среднем 1–2 мкм (см. рис. 2). Поэлементный химический состав карбидов в исследуемых сталях приведен на рис. 3.

При определении химического состава карбидов в сталях 06ГФБА и 06ГФБМ высокая погрешность измерений вызвана небольшим размером карбидной фазы. Содержание ниобия, молибдена и углерода искажается большим («фоновым») содержанием железа из матрицы. Данные частицы можно отнести к карбидам ниобия и марганца в стали 06ГФБА и к карбидам ниобия, марганца и молибдена в стали 06ГФБМ.

Химический анализ карбидов в стали 10ГФБЮ показал наличие карбида ниобия, имеющего размеры от 1 до 2 мкм.

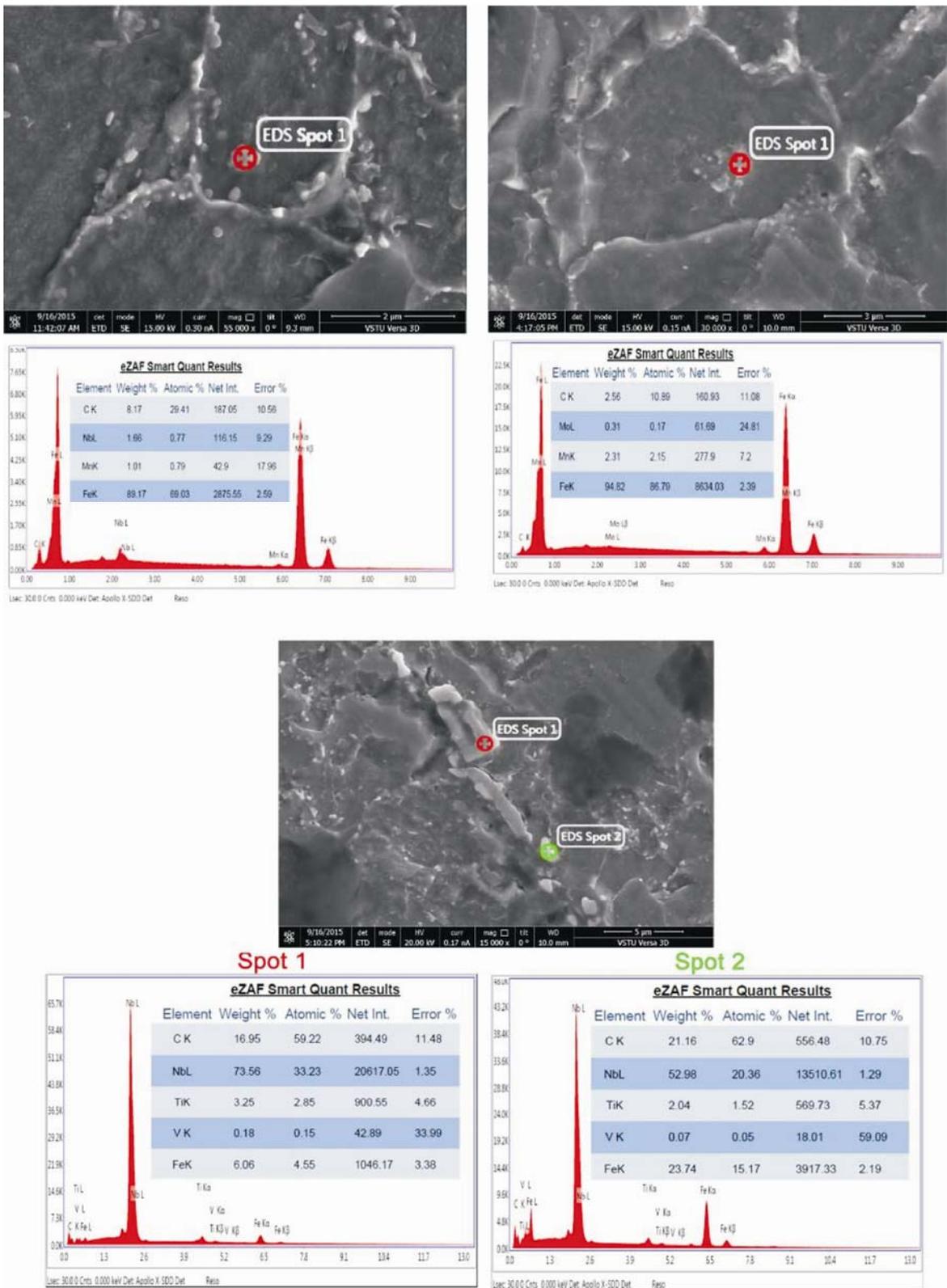


Рис. 3. Химический состав карбидов

Выводы

По результатам проведенного сравнительного исследования доперитетических сталей установлено, что сталь 06ГФБМ имеет более мелкодисперсные карбиды, в 2 раза меньше,

чем в стали 06ГФБА, и в 3–5 раз меньше, чем в стали 10ГФБЮ. В совокупности с их более равномерным распределением повышается уровень механических и эксплуатационных характери-

стик. Это подтверждают и более высокие значения микротвердости структурных составляющих. В данном случае повысить дисперсность карбидной фазы удалось благодаря комплексному легированию тремя элементами:

– ниобием, выделяющимся при температуре 1100–1300 °С в виде дисперсных карбидов и нитридов, которые в дальнейшем практически не растворяются и служат центрами зарождения зерен, что обеспечивает получение в конечной структуре наследственной мелкозернистости;

– ванадием, выделяющимся при температуре 600–820 °С в виде карбидов, заменяющих цементитные пластинки при отпуске, что, в свою очередь, повышает прочностные и вязкопластичные свойства;

– молибденом, выделяющимся также при температуре 600–825 °С в виде сложных комплексных карбидов, позволяющих сдерживать рост карбидной фазы, увеличить их дисперсность при отпуске. Необходимо отметить, что получение мелкодисперсных комплексных карбидов возможно только в низкоуглеродистых сталях 06ГФБМ и 06ГФБА, так как большее содержание углерода в стали 10ГФБЮ способствует росту и коагуляции карбидной фазы.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования доперитектических сталей 06ГФБА и 06ГФБМ для производства бесшовных труб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чичкарев, Е. А. Повышение качества непрерывнолитых заготовок из перитектических марок стали за счет совершенствования технологии разлива [Текст] / Е. А. Чичкарев // Инновационные технологии внепечной металлургии чугуна и стали. — Донецк: ДонНТУ, 2011. — С. 241–248.
2. Wang, Hongfeng. Control on continuous casting thin slab surface quality of peritectic steel [Text] / Hongfeng Wang, Jiang Jiahe, Jiang Zhongkuai // Metallurgical Collections. — 2004. — № 2.
3. Guyot, V. Control of surface Quality of 0,08%<C<0,12% Steel Slabs in Continuous Casting [Text] / V. Guyot, J. F. Martin, A. Ruelle [et al.] // ISIJ International. — 1996. — V. 36. — P. S227–S230.
4. Смирнов, М. А. Исследование склонности низкоуглеродистых трубных сталей к проявлению эффекта Баушингера [Текст] / М. А. Смирнов, О. В. Варнак, А. А. Жукова [и др.] // Деформация и разрушение металлов. — 2015. — № 10. — С. 14–20.
5. Уткин, И. Ю. Освоение новой композиции легирования стали для производства линейных труб классов прочности К52–К55 [Текст] / И. Ю. Уткин, Д. П. Усков, И. И. Франтов [и др.] // Металлург. — 2015. — № 11. — С. 105–109.
6. Хотинин, В. А. Влияние термообработки на механические свойства сталей типа 08Г2МБ с ультрадисперсной структурой [Текст] / В. А. Хотинин, В. М. Фарбер, О. В. Селиванова, О. Н. Полухина // Производство проката. — 2017. — № 2. — С. 20–25.

Метизное производство

УДК 621.791:624

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ НАПЛАВКИ. ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕМОНТА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

*Н. А. КОЗЫРЕВ¹, д-р техн. наук, проф., kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru;
Р. Е. КРЮКОВ¹, канд. техн. наук; А. А. УСОЛЬЦЕВ¹, канд. техн. наук;
А. А. УМАНСКИЙ¹, канд. техн. наук; П. Д. СОКОЛОВ²
(¹ ФГБОУ ВО “Сибирский государственный индустриальный университет”,
² ООО “ЭлСиб”, г. Новокузнецк)*

Повышение работоспособности прокатных валков электродуговой наплавкой является важнейшим резервом увеличения производства проката и экономии металла за счет продления

срока службы валков. В отечественной металлургии накоплен значительный опыт по восстановлению наплавкой прокатных валков сортовых, трубных, заготовочных и листовых станов

[1–4]. Рабочие валки станов горячей прокатки работают в условиях циклического термомеханического воздействия и основными причинами выхода валков из строя являются образование на их поверхности трещин разгара и износ. Причем определяющим является образование глубоких трещин разгара, требующих для их удаления большого съема токарной обработкой активного слоя перед каждой новой кампанией прокатки.

Механические свойства наплавленного металла и в целом трещиностойчивость предопределены уровнем загрязненности неметаллическими включениями и общей газонасыщенностью сварного шва. Большинство неметаллических включений в сварных швах являются оксидными, независимо от того, экзогенные они или эндогенные, при этом количественный и качественный состав последних предопределен содержанием общего кислорода. Существующие системы легирования построены на принципах кремне-марганцево-окислительно-восстановительных процессов. При этом продуктами данных реакций являются оксидные соединения кремния, марганца, железа, алюминия и др., которые в итоге приводят к увеличению загрязненности металла сварного шва неметаллическими включениями и снижению комплекса физико-механических свойств. Для исключения загрязнения металла шва авторами предложено использование во флюсах углерода, образующего при взаимодействии с окислителями газообразные соединения CO_2 и CO , не увеличивающие загрязненность неметаллическими включениями.

При изучении возможности использования углерода в качестве добавки проведена оценка термодинамической вероятности протекания окислительно-восстановительных реакций оксидов (FeO), (MnO), (SiO_2), (Al_2O_3) с восстановителями $[\text{Mn}]$, $[\text{Si}]$, $[\text{Al}]$, $\text{C}_{\text{ТВ}}$, $\text{CO}_{\text{Г}}$, $\text{CO}_{2\text{Г}}$, которая показала, что наиболее высокой восстановительной способностью отличаются алюминий, углерод, кремний. При этом восстановительная способность кремния с увеличением температуры уменьшается, а углерода, наоборот, увеличивается. В результате углерод при температурах выше $T \approx 1940$ К обладает большей восстановительной способностью, чем кремний. При этом указанная температура соответствует нижнему пределу температурного интервала в сварочной ванне при автоматической сварке под флюсом (1973–2133 К). Марганец как восстановитель может быть эффективным лишь для оксида железа в интервале температур до 1800 К. Выше этой температуры восстановительная способность углерода превышает данную характеристику для марганца. Алюминий является лучшим восстановителем для всех оксидов в системе, однако он может образоваться в металле шва лишь в

небольших концентрациях. Таким образом, проведенный термодинамический анализ показал, что введенный в систему углерод способен за счет высоких восстановительных свойств при $T = 1950\text{--}2200$ К существенным образом повлиять на снижение содержания неметаллических включений в металле шва [5, 6].

Вторым немаловажным вопросом является снижение содержания водорода. Проведена термодинамическая оценка вероятности протекания процессов удаления водорода из сварного шва при сварке под фторсодержащим флюсом в стандартных состояниях в интервале температур 1700–2200 К [7, 8]. При этом в качестве стандартных состояний для веществ-реагентов были выбраны: $\text{Na}_3\text{AlF}_{6\text{Ж}}$, $\text{SiO}_{2\text{Ж}}$, $\text{SiF}_{4\text{Г}}$, $\text{NaAlO}_{2\text{ТВ}}$, $\text{Na}_2\text{SiO}_{3\text{Ж}}$, $\text{CaF}_{2\text{Ж}}$, $\text{CaSiO}_{3\text{ТВ}}$, $\text{H}_{2\text{Г}}$, $\text{SiF}_{2\text{Г}}$, $\text{HF}_{\text{Г}}$, $\text{O}_{2\text{Г}}$, $\text{SiF}_{\text{Г}}$, $\text{H}_{\text{Г}}$. В результате расчетов стандартной энергии Гиббса и констант равновесия реакций определено, что из реакций прямого взаимодействия фторагентов шлака с водородом и кислородом металла наиболее вероятной является реакция с криолитом. В механизме более сложного взаимодействия с участием в реакции, кроме фторагентов, кремнезема шлака и возможным образованием промежуточного продукта $\text{SiF}_{4\text{Г}}$ более вероятным является процесс с флюоритом. Расчеты показали целесообразность использования соединения Na_3AlF_6 наряду с флюоритом для удаления водорода при сварке под флюсом. Проведенные расчеты и положительный опыт использования углеродфторсодержащих материалов легли в основу разработки составов новых порошковых проволок.

Исследования проводили с использованием широко известных на металлургических предприятиях России систем: Fe-C-Si-Mn-Cr-W-V и $\text{Fe-C-Si-Mn-Cr-V-Mo}$.

Первая система используется для ремонта наиболее нагруженных валков горячей прокатки, для чего применяется порошковая проволока ПП-Нп-35В9Х3СФ по ГОСТ 26101–84 с большим содержанием дорогостоящего вольфрама. Работа во второй системе позволяет получать наибольшее сопротивление термической усталости металла. Данная система представлена порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС. В лабораторных условиях были изготовлены образцы стандартной порошковой проволоки ПП-Нп-35В9Х3СФ и ПП-Нп-25Х5ФМС.

Многослойную наплавку образцов производили с предварительным подогревом пластин до 350 °С и последующим (после наплавки) замедленным охлаждением. Наплавку осуществляли сварочным трактором АСАВ-1250 с использованием изготовленной порошковой проволоки на пластины. В состав ряда образцов проволоки ввели никель, а аморфный углерод заменили на углеродфторсодержащую пыль со следующим

химическим составом, % (мас.): 21–46 Al₂O₃; 18–27 F; 8–15 Na₂O; 0,4–6 K₂O; 0,7–2,3 CaO; 0,5–2,5 SiO₂; 2,1–3,3 Fe₂O₃; 12,5–30,2 C_{общ}; 0,07–0,9 MnO; 0,06–0,9 MgO; 0,09–0,19 S; 0,10–0,18 P. Дисперсность такого материала позволяет проводить хорошее смешение с металлической составляющей шихты порошковой проволоки. Наплавку проводили на пластины из стали 09Г2С в 6 слоев.

В ходе проведения лабораторных исследований изготовили порошковую проволоку ПП-Нп-

25Х5ФМС. В шихту вводили углеродфторсодержащую пыль взамен аморфного углерода и никель в различных соотношениях [9–13].

Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлюоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 (табл. 1). Измерение твердости исследованных образцов выполняли по методу Роквелла в соответствии с требованиями ГОСТ 9013–59.

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОБРАЗЦОВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Номер образца	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	Cu	Cr	Mo	Ni	Al	V	Ti
1	0,15	1,59	1,67	0,18	0,35	1,11	0,16	0,032	0,35	0,006
2	0,20	1,33	2,16	0,17	3,52	1,51	0,13	0,04	0,36	0,020
3	0,24	0,93	2,11	0,15	3,18	1,31	0,21	0,054	0,46	0,021
4	0,31	1,19	2,13	0,20	3,50	1,34	0,32	0,064	0,47	0,022
5	0,24	0,92	1,93	0,22	3,00	1,85	0,38	0,034	0,43	0,014
6	0,14	0,39	1,88	0,10	3,05	1,04	0,10	0,014	0,13	0,005
7	0,09	0,29	1,62	0,10	2,95	0,95	0,10	0,011	0,10	0,003
8	0,09	0,28	1,63	0,10	3,23	1,08	0,50	0,011	0,17	0,003
9	0,09	0,33	1,74	0,10	3,15	1,06	0,56	0,011	0,12	0,002
10	0,08	0,35	1,70	0,10	2,99	1,07	0,81	0,007	0,11	0,002

Примечание. 1, 6 — образцы с добавлением аморфного графита; 2, 7 — образцы с добавлением углеродфторсодержащей пыли; 3–5 и 8–10 — образцы с добавлением углеродфторсодержащей пыли и никеля.

Металлографическое исследование микроструктур осуществляли с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений $\times(100–1000)$ после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639–82 при увеличении $\times 100$. Дисперсность мартенсита оценивали при сопоставлении структуры с эталонами соответствующих шкал и размеров игл мартенсита с данными таблицы № 6 ГОСТ 8233–56. Определение длины игл мартенсита осуществляли с помощью пакета прикладных программ для металлографических исследований Siams Photolab 700. Исследование продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений проводили по ГОСТ 1778–70. Полированную поверхность изучали при увеличении $\times 100$ с помощью металлографического микроскопа ЛабоМет-1И. С целью изучения свойств отдельных участков микроструктуры стали, в частности мартенсита, использовали метод определения микротвердости структурных составляющих в соответствии с требованиями ГОСТ 9450–76. Исследования по Виккерсу выполняли на цифровом микротвердомере модели HVS-1000 с автоматической поворотной головкой и цифровым отображением данных. Для каждого образца проводили 10 измерений микротвердости мартенсита по следующей методике. В поверхность испытуемого

образца под действием нагрузки 1 Н вдавливался наконечник в форме четырехгранной алмазной пирамиды. После снятия нагрузки число твердости определяли в соответствии с длинами диагоналей полученного отпечатка. Расчет числа твердости по Виккерсу, его отображение на экране компьютера и сохранение изображения с отпечатком выполнены автоматически благодаря использованию ССD-камеры с соответствующим программным обеспечением анализа изображений.

Скорость истирания наплавленного слоя опытных образцов определяли путем проведения испытаний на износ на машине 2070 СМТ-1 по схеме диск – колодка со следующими параметрами: диапазон измерения частоты вращения вала нижнего образца (диапазон А) — 75–750 мин⁻¹; диапазон измерения момента трения (диапазон I) — 1–10 Н·м.

По результатам проведенных исследований установлено, что введение в состав проволоки углеродфторсодержащей добавки взамен аморфного графита обеспечивает улучшение структуры наплавленного слоя: способствует образованию мелкодисперсных карбидов, что на практике должно привести к повышению термической стойкости, а также устранению ферритной сетки, что может оказать положительное влияние на трещиностойкость стали (рис. 1).

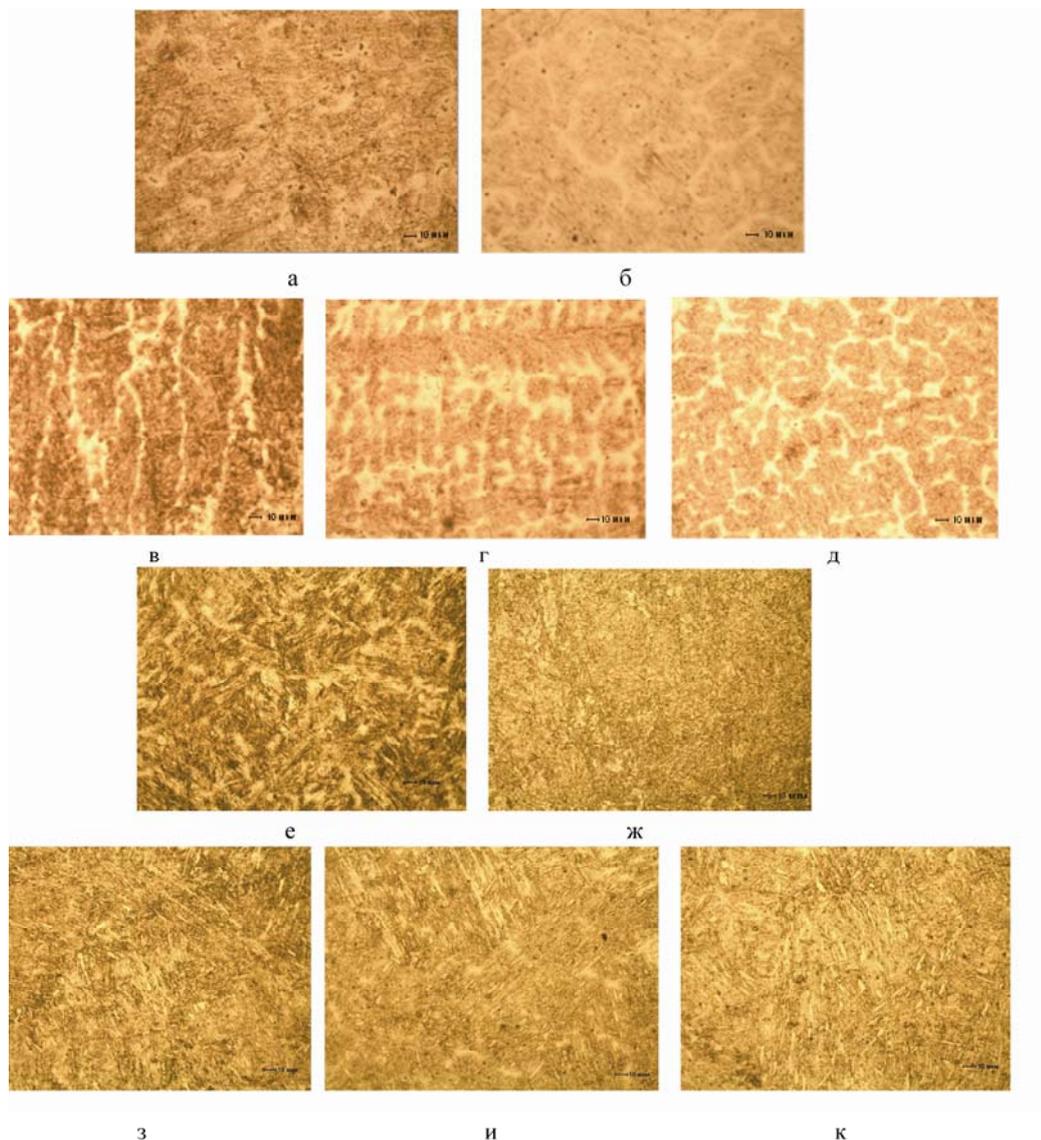


Рис. 1. Микроструктура исследованных образцов ($\times 500$):
а — образец № 1; *б* — образец № 2; *в* — образец № 3; *г* — образец № 4; *д* — образец № 5; *е* — образец № 6;
ж — образец № 7; *з* — образец № 8; *и* — образец № 9; *к* — образец № 10

При введении углеродфторсодержащей пыли и никеля в структуре образцов кроме мартенсита и сформированных по границам зерен отдельных тонких аустенитных оторочек присутствует игольчатый троостит, наблюдаются более мелкодисперсные карбиды, а также увеличивается на 23 % объемная доля аустенита (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. РАЗМЕР ИГЛ МАРТЕНСИТА В СТРУКТУРЕ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ

Номер образца	Размер игл мартенсита, мкм
7	3–12
8	3–11
9	2–15 (в некоторых областях 17–19)
10	2–15 (в некоторых областях 16–25)
11	3–15 (в некоторых областях 17–24)

Введение в состав проволоки никеля оказывает положительное влияние на структуру стали 25Х5ФМС, обеспечивая измельчение зерна аустенита (см. рис. 1). Введение никеля в состав проволоки увеличивает объемную долю остаточного аустенита на 51–72 % (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. ОБЪЕМНАЯ ДОЛЯ ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА В НАПЛАВЛЕННОМ СЛОЕ

Номер образца	Объемная доля остаточного аустенита, %
1	4,3
2	5,6
3	15,6
4	14,7
5	8,4

В результате исследования наплавленного слоя на наличие неметаллических включений установлено, что введение в состав проволоки углеродфторсодержащего материала взамен аморфного углерода обеспечивает снижение

уровня загрязненности стали неметаллическими включениями — отсутствуют строчечные оксидные включения и силикаты недеформирующиеся (рис. 2).

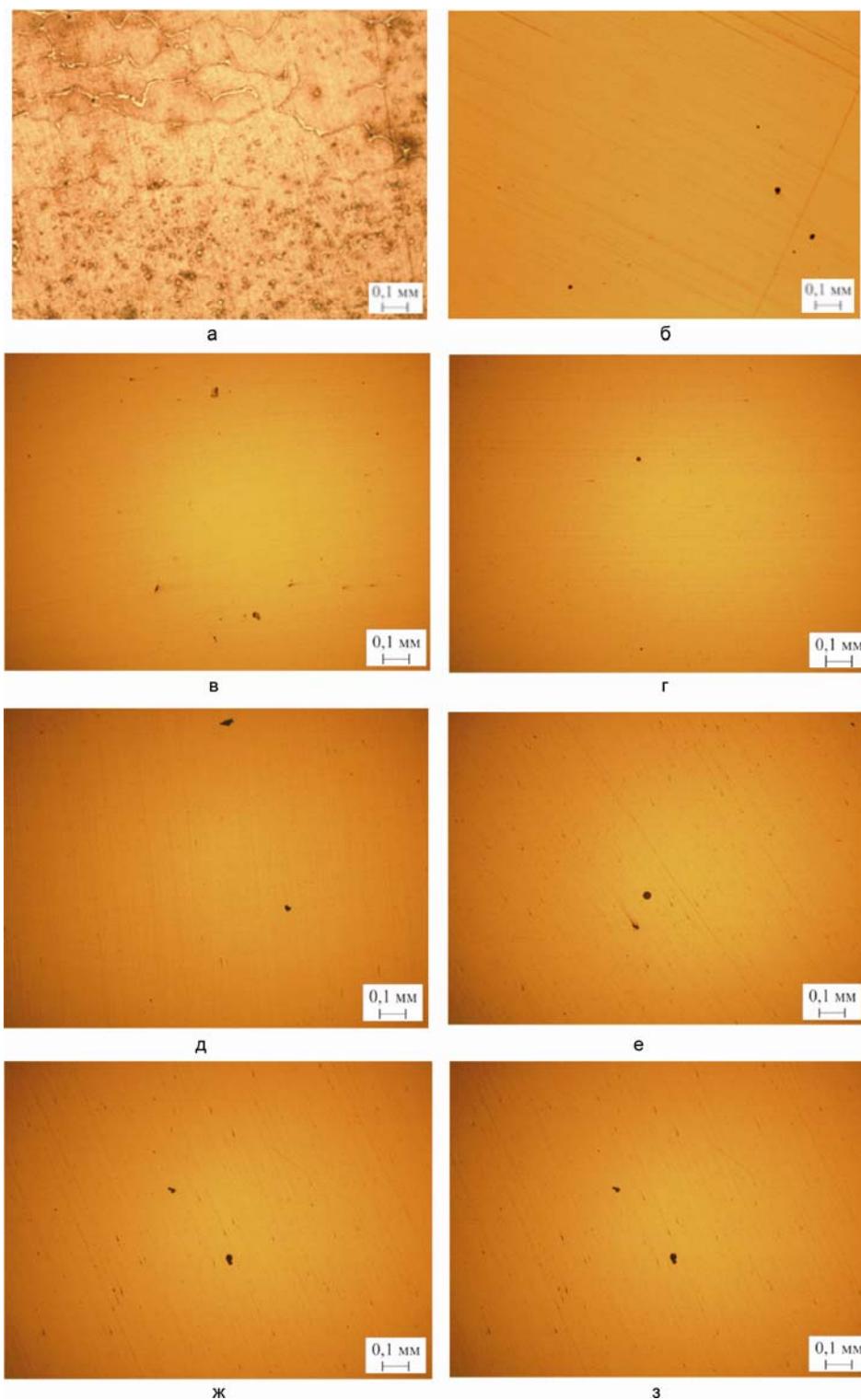


Рис. 2. Характер неметаллических включений в исследованных образцах:
а — образец № 1; б — образец № 3; в — образец № 6; г — образец № 7; д — образец № 8; е, ж — образец № 9;
з — образец № 10

Установлено, что использование взамен аморфного графита углеродфторсодержащего материала и никеля обеспечивает не только улучшение структуры, но и повышает твердость наплавленного слоя (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4. ТВЕРДОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ ИССЛЕДОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ

Номер образца	HRC
	$\left(\frac{\text{среднее}}{\text{минимальное/максимальное}} \right)$
1	$\frac{43,2}{41,5 / 43,4}$
2	$\frac{48,1}{41 / 48,5}$
3	$\frac{51,8}{51 / 54}$
4	$\frac{53,4}{52 / 55}$
5	$\frac{54,1}{51 / 56}$
6	$\frac{45,4}{45,2 / 46}$
7	$\frac{45}{45 / 45,5}$
8	$\frac{45,7}{45 / 46,5}$
9	$\frac{45,5}{45,2 / 45,8}$
10	$\frac{46,1}{45,2 / 47,5}$

Структура и, соответственно, свойства наплавленного слоя определяются не только количественным содержанием отдельных элементов, в частности таких, как никель и углерод, но и в значительной степени зависят от углеродного эквивалента. Поэтому для исследованных образцов определяли углеродный эквивалент C_3 по трем формулам: формуле (1) — предложенной Международным институтом сварки (Европейский стандарт EN 1011-2:2001), формуле (2) — предложенной Институтом электросварки им. Е.О. Патона и по формуле (3) — согласно российскому стандарту ГОСТ 27772–88:

$$C_3 = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15, \quad (1)$$

$$C_3 = C + Si/24 + Mn/6 + Cr/5 + Mo/4 + Ni/10 + (V + Cu)/14, \quad (2)$$

$$C_3 = C + Si/24 + Mn/6 + Cr/5 + Mo/4 + Ni/40 + Cu/13 + V/14 + P/2, \quad (3)$$

где C_3 — углеродный эквивалент, %; C, Si, Mn, Cr, Mo, V, Cu, Ni, P — массовая доля элементов, %.

Расчеты по формуле (3) обеспечивают наибольшее значение коэффициента детерминации (рис. 3).

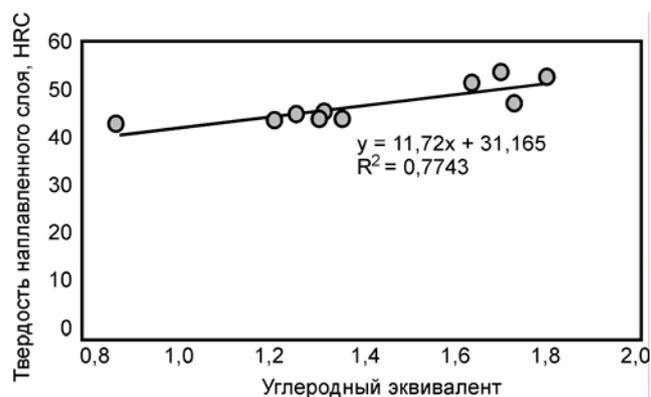


Рис. 3. Зависимость твердости наплавленного слоя от углеродного эквивалента проволоки 25Х5ФМС

Замена аморфного графита на углеродфторсодержащий материал снижает скорость истирания наплавленного слоя, при этом практически не оказывает влияние на микротвердость мартенсита (табл. 5).

ТАБЛИЦА 5. МИКРОТВЕРДОСТЬ МАРТЕНСИТА И СКОРОСТЬ ИСТИРАНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ ИССЛЕДОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ

Номер образца	μ_n , HV	Скорость истирания, г/об
6	385	0,00059
7	387	0,00055
8	402	0,00053
9	476	0,00057
10	483	0,00053

Во второй серии опытов (табл. 6) исследовали изготовленную в лабораторных условиях порошковую проволоку ПП-Нп-35В9Х3СФ [14–18].

ТАБЛИЦА 6. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИССЛЕДОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ

Номер образца	Массовая доля элементов, %										
	C	Si	Mn	Cu	Cr	Mo	Ni	Al	W	V	Ti
1	0,27	1,62	1,42	0,19	2,93	0,14	0,14	0,04	11,39	0,47	0,02
2	0,23	0,69	1,04	0,21	1,92	0,09	0,16	0,039	5,58	0,15	0,019
3	0,24	0,83	1,83	0,24	2,16	0,09	0,29	0,054	7,49	0,27	0,019
4	0,26	0,77	1,72	0,26	2,17	0,09	0,33	0,042	6,12	0,29	0,016
5	0,33	1,37	1,06	0,22	2,80	0,10	0,61	0,07	10,71	0,42	0,04
6	0,14	0,45	1,69	0,02	2,60	0,01	0,08	0,019	8,84	0,36	0,005
7	0,14	0,51	1,73	0,11	2,09	0,01	0,08	0,012	7,66	0,14	0,005
8	0,13	0,45	1,74	0,09	2,18	0,01	0,38	0,008	8,11	0,09	0,005
9	0,13	0,49	1,68	0,09	2,27	0,01	0,46	0,005	8,21	0,13	0,004
10	0,13	0,60	1,54	0,09	2,66	0,02	0,58	0,044	7,58	0,15	0,005

Примечание. 1, 6 — образцы с добавлением аморфного графита; 2, 7 — образцы с добавлением углеродфторсодержащей пыли; 3–5 и 8–10 — образцы с добавлением углеродфторсодержащей пыли и никеля.

Металлографический анализ образцов с содержанием аморфного графита показал, что их структура представляет собой мартенсит с оста-

точным аустенитом в межосевом пространстве (рис. 4).

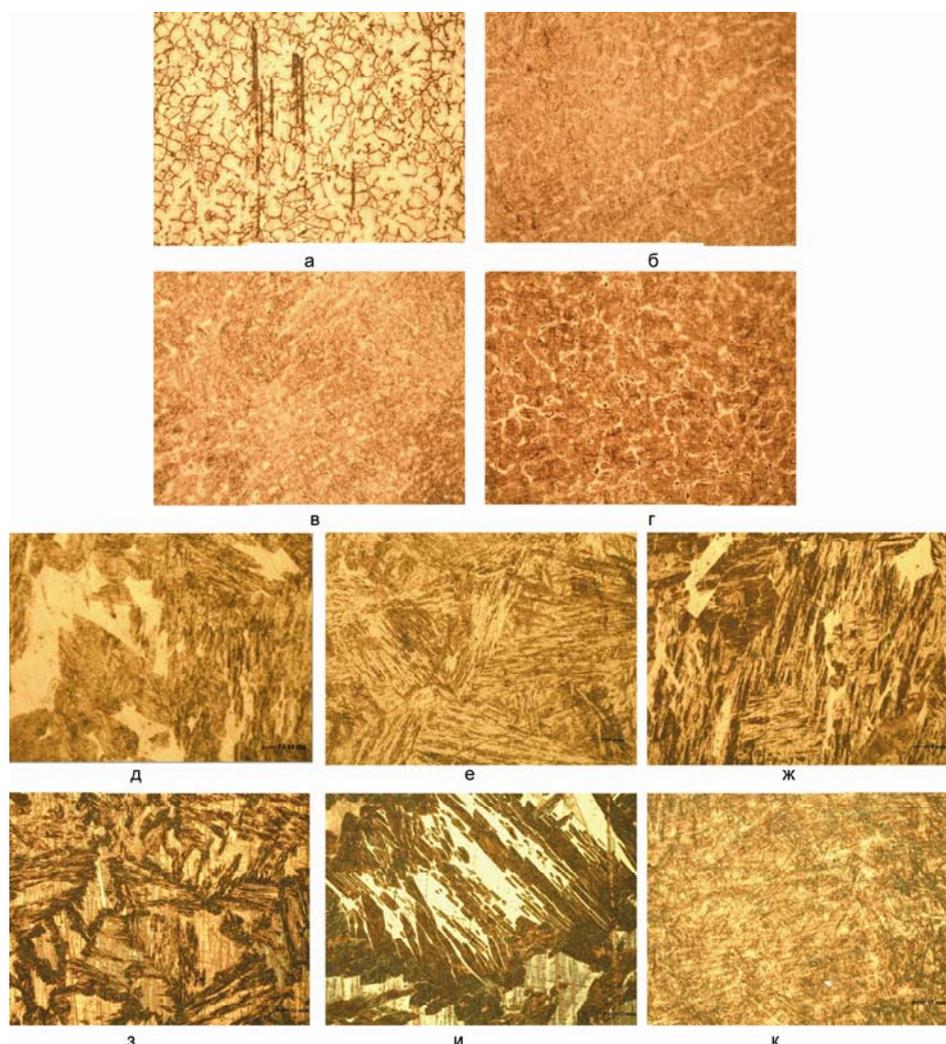


Рис. 4. Микроструктура исследованных образцов ($\times 500$):
а — образец № 1; *б* — образец № 3; *в* — образец № 4; *г* — образец № 5; *д* — образец № 6; *е* — образец № 7;
ж — образец № 8; *з*, *и* — образец № 9; *к* — образец № 10

Использование углеродфторсодержащей добавки взамен аморфного углерода способствует снижению пористости.

При исследовании наплавленного слоя на наличие неметаллических включений установлено, что в образцах с добавкой аморфного гра-

фита наблюдается значительное количество строчечных кислородных включений, являющихся концентраторами напряжений и местами зарождения хрупких трещин, а также обнаружены оксиды точечные балла 2а и 1а и силикаты недеформирующиеся балла 1а (рис. 5).

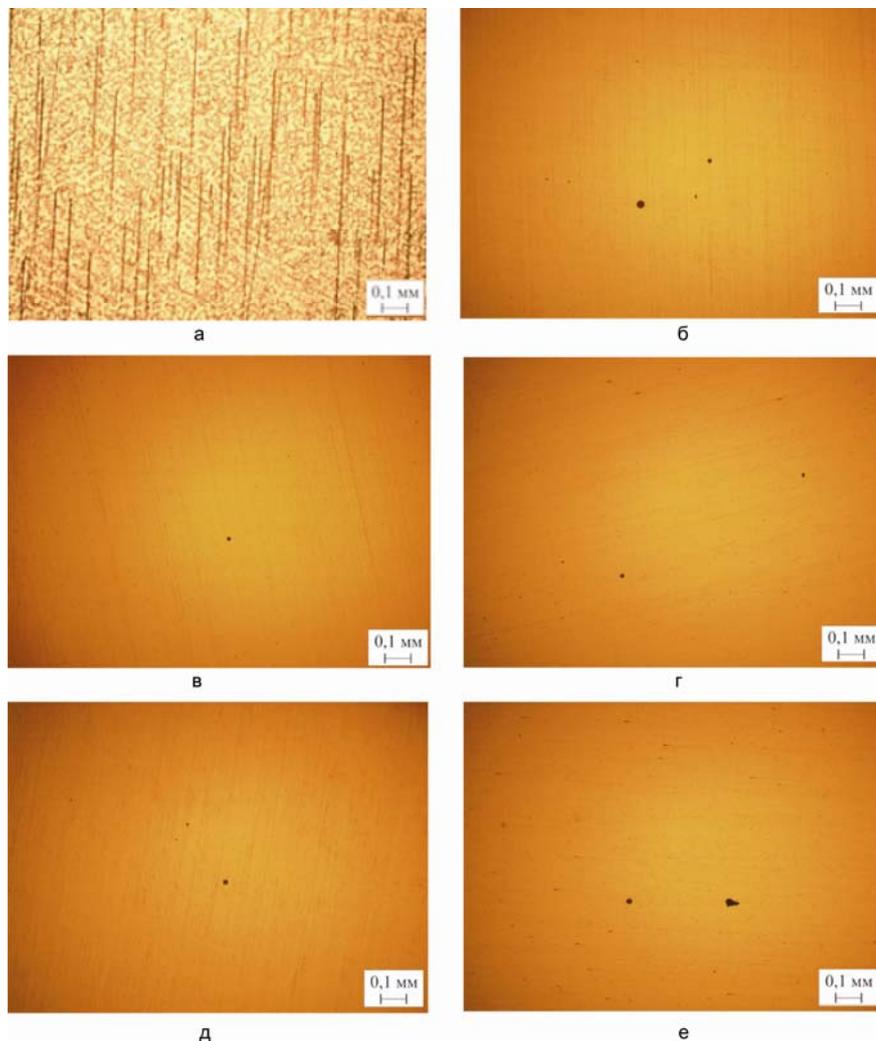


Рис. 5. Характер неметаллических включений в исследованных образцах ($\times 100$): а — образец № 1; б — образец № 6; в — образец № 7; г — образец № 8; д — образец № 9; е — образец № 10

Установлено, что введение в состав шихты углеродфторсодержащей добавки взамен аморфного графита снижает уровень загрязненности неметаллическими включениями: обеспечивает удаление значительного количества строчечных кислородных включений, устраняет силикаты недеформирующиеся и уменьшает загрязненность оксидами точечными с балла 2а до 1а.

Микроструктурные изменения вследствие введения в состав шихты углеродфторсодержащей пыли и никеля сопровождаются изменением свойств наплавленного слоя.

Полученные данные о твердости наплавленного слоя (табл. 7), а также микротвердости мартенсита и скорости истирания наплавленного слоя (табл. 8) позволили сделать вывод о значимом влиянии углеродного эквивалента на показатели твердости. Повышение углеродного эквивалента в порошковой проволоке 35В9ХЗСФ способствует увеличению как средних значений твердости наплавленной поверхности (рис. 6), так и увеличению твердости мартенсита в структуре наплавленного слоя (рис. 7).

ТАБЛИЦА 7. ТВЕРДОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ 35В9Х3СФ

Номер образца	HRC
	$\left(\frac{\text{среднее}}{\text{минимальное/максимальное}} \right)$
1	$\frac{49}{48,7 / 49,2}$
2	$\frac{50,8}{49,3 / 51,2}$
3	$\frac{53,3}{51 / 54}$
4	$\frac{53}{51 / 53,5}$
5	$\frac{54,8}{53,4 / 55,1}$
6	$\frac{45,5}{45,2 / 46}$
7	$\frac{46}{45,2 / 47}$
8	$\frac{45,5}{45,2 / 47}$
9	$\frac{47,2}{45 / 49}$
10	$\frac{48}{46,5 / 50}$

ТАБЛИЦА 8. МИКРОТВЕРДОСТЬ МАРТЕНСИТА В СТРУКТУРЕ И СКОРОСТЬ ИСТИРАНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ МЕТАЛЛА ПРИ НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ 35В9Х3СФ

Номер образца	μ_n , HV	Скорость истирания, г/об
6	471	0,00088
7	449	0,00052
8	464	0,00052
9	493	0,00065
10	547	0,00068

Таким образом, проведенными исследованиями показано, что ввод в состав порошковых проволок ПП-Нп-25Х5ФМС и 35В9Х3СФ углеродфторсодержащей пыли взамен аморфного графита приводит к снижению пористости на-

плавленного слоя и уменьшает количество содержащихся в нем неметаллических включений, в том числе строчечных оксидных включений и недеформируемых силикатов. В результате обобщения экспериментальных данных установлено влияние повышения углеродного эквивалента порошковой проволоки 35В9Х3СФ на увеличение показателей твердости наплавленного слоя, в том числе средней твердости поверхности и микротвердости мартенсита.

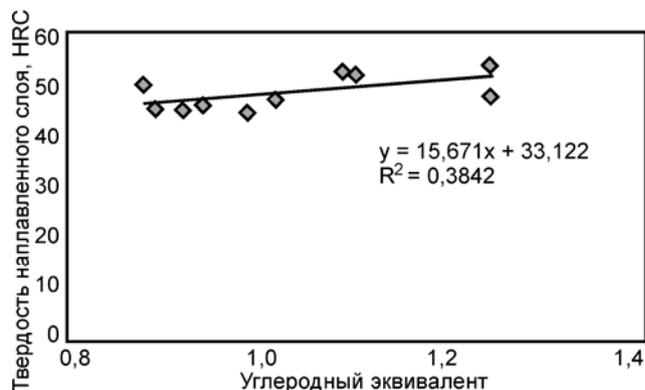


Рис. 6. Зависимость твердости наплавленного слоя от углеродного эквивалента используемой порошковой проволоки 35В9Х3СФ

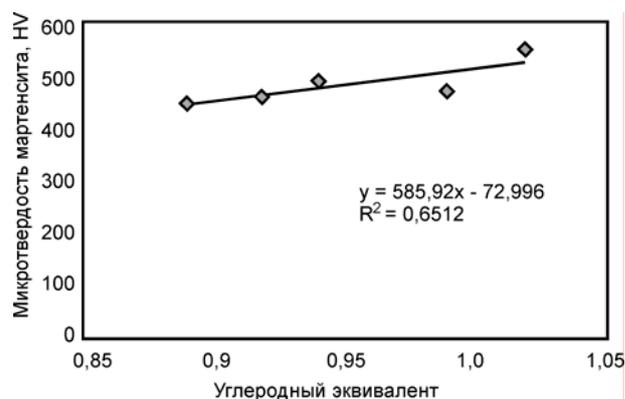


Рис. 7. Зависимость микротвердости мартенсита в структуре наплавленного слоя от углеродного эквивалента используемой порошковой проволоки 35В9Х3СФ

Полученные в лабораторных условиях зависимости легли в основу новой технологии ремонта прокатных валков, используемой в условиях ООО “ЭлСиб” [19–24]. Шихта для производства порошковых проволок защищена патентами Российской Федерации [25, 26].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов, Л. И. Увеличение срока службы опорных валков стана 2000 горячей прокатки полос в ОАО “Северсталь” [Текст] / Л. И. Данилов, Н. Б. Скорохватов, В. Ф. Соболев // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. — 2004. — № 8. — С. 68, 69.
2. Огарков, Н. Н. Стойкость и качество прокатных валков [Текст] / Н. Н. Огарков, А. И. Беляев. — Магнитогорск: МГТУ, 2008. — 131 с.

3. Гулидов, И. Н. Оборудование прокатных цехов: эксплуатация и надежность [Текст] / И. Н. Гулидов. — М.: Интермет Инжиниринг, 2004. — 315 с.
4. Трайно, А. И. Рациональные режимы эксплуатации и восстановления прокатных валков [Текст] / А. И. Трайно // Сталь. — 2008. — № 10. — С. 86–91.
5. Крюков, Р. Е. Окислительно-восстановительные процессы при сварке под углеродсодержащим флюсом [Текст] / Р. Е. Крюков, Ю. В. Бендре, Н. А. Козырев [и др.] // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2014. — № 10. — С. 25–28.
6. Крюков, Р. Е. Некоторые окислительно-восстановительные аспекты при сварке под углеродсодержащим флюсом [Текст] / Р. Е. Крюков, Ю. В. Бендре, Н. А. Козырев [и др.] // Актуальные проблемы современного машиностроения: сб. трудов междунар. научно-практич. конф.; Юргинский технологический институт. — Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2014. — С. 312–316.
7. Крюков, Р. Е. Схема удаления водорода при сварке под фторсодержащими флюсами [Текст] / Р. Е. Крюков, Ю. В. Бендре, Г. В. Галевский, Н. А. Козырев [и др.] // Актуальные проблемы в машиностроении. — 2015. — № 2. — С. 177–180.
8. Крюков, Р. Е. Термодинамические аспекты удаления водорода при сварке под углеродфторсодержащими флюсами [Текст] / Р. Е. Крюков, Ю. В. Бендре, Г. В. Галевский [и др.] // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2016. — Т. 59. — № 2. — С. 99–104.
9. Козырев, Н. А. Влияние введения в шихту для производства порошковой проволоки системы С–Si–Mn–Cr–V–Mo углеродфторсодержащей добавки и никеля [Текст] / Н. А. Козырев, Д. А. Титов, С. Н. Старовацкая [и др.] // Там же. — 2014. — № 4. — С. 34–37.
10. Козырев, Н. А. Порошкообразная проволока системы С–Si–Mn–Cr–V–Mo [Текст] / Н. А. Козырев, Д. А. Титов, О. Е. Козырева, В. М. Шурупов // Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика; материалы 16-й Междунар. научно-практич. конф. — СПб.: изд-во Санкт-Петербургского политех. ун-та, 2014. — Т. 1. — С. 69–71.
11. Козырев, Н. А. Влияние никеля и углеродфторсодержащей добавки на структуру и свойства наплавляемой стали 25Х5ФМС [Текст] / Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, А. А. Уманский, Д. А. Титов // Актуальные проблемы в машиностроении. — 2016. — № 3. — С. 54–59.
12. Козырев, Н. А. Исследование и разработка новых составов порошковой проволоки системы С–Si–Mn–Cr–V–Mo для наплавки прокатных валков [Текст] / Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, А. А. Уманский [и др.] // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2016. — Т. 59. — № 10. — С. 727–733.
13. Козырев, Н. А. Повышение качества наплавляемого стально 25Х5ФМС валика [Текст] / Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, А. А. Уманский, Д. А. Титов // Вестник РАЕН (Западно-Сибирское от-е). — 2016. — Вып. 19. — С. 126–137.
14. Козырев, Н. А. Изучение влияния введения в шихту для производства порошковой проволоки системы С–Si–Mn–Cr–W–V углеродфторсодержащей добавки и никеля [Текст] / Н. А. Козырев, Д. А. Титов, С. Н. Старовацкая [и др.] // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2014. — № 6. — С. 31–33.
15. Козырев, Н. А. Изучение наплавляемого стально 35В9Х3СФ валика [Текст] / Н. А. Козырев, Г. В. Галевский, Д. А. Титов [и др.] // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: сб. научн. тр. Вып. 35. — Новокузнецк: СибГИУ, 2015. — С. 79–85.
16. Козырев, Н. А. Изучение влияния состава порошковой проволоки ПП-Нп-35В9Х3СФ на свойства наплавляемого валика [Текст] / Н. А. Козырев, Д. А. Титов, Н. В. Кибко // Актуальные проблемы в машиностроении. — 2016. — № 3. — С. 60–64.
17. Козырев, Н. А. Совершенствование состава порошковых проволок системы С–Si–Mn–Cr–W–V с целью повышения качества и эксплуатационных характеристик наплавленного слоя [Текст] / Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, А. А. Уманский [и др.] // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2016. — Т. 59. — № 11. — С. 806–813.
18. Козырев, Н. А. Улучшение структуры и свойств стали 35В9Х3СФ [Текст] / Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, А. А. Уманский, Д. А. Титов // Вестник РАЕН (Западно-Сибирское от-е). — 2016. — Вып. 19. — С. 138–148.
19. Козырев, Н. А. Разработка новых порошковых проволок для ремонта прокатных валков [Текст] / Н. А. Козырев, Д. А. Титов, О. Е. Козырева [и др.] // Научно-технический прогресс в черной металлургии; материалы II Междунар. научно-практич. конф. (7–9 октября 2015 г.). — Череповец: Череповецкий гос. ун-т, 2015. — С. 175–177.
20. Уманский, А. А. Экспериментальные исследования влияния состава порошковых проволок систем легирования С–Si–Mn–Cr–V–Mo и С–Si–Mn–Cr–W–V [Текст] / А. А. Уманский, Н. А. Козырев, Д. А. Титов // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. — 2016. — № 4. — С. 74–78.
21. Уманский, А. А. Исследование и разработка новых составов порошковой проволоки для наплавки прокатных валков, обеспечивающих повышение эксплуатационных характеристик наплавленного металла [Текст] / А. А. Уманский, Н. А. Козырев, Д. А. Титов // Производство проката. — 2016. — № 5. — С. 43–47.
22. Козырев, Н. А. Исследование влияния состава порошковых проволок на характеристики наплавленного слоя прокатных валков [Текст] / Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, А. А. Уманский [и др.] // Вестник РАЕН (Западно-Сибирское от-е). — 2016. — Вып. 19. — С. 149–154.
23. Козырев, Н. А. Наплавка порошковой проволокой деталей металлургического оборудования [Текст]: учебное пособие / Н. А. Козырев, Г. Н. Вострецов, Р. Е. Крюков, Д. А. Титов. — Новокузнецк: СибГИУ, 2017. — 180 с.
24. Козырев, Н. А. Повышение качества наплавленного слоя прокатных валков за счет оптимизации состава порошковых проволок [Текст] / Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, А. А. Уманский [и др.] // Сварочное производство. — 2017. — № 7. — С. 29–34.
25. Пат. 2518211 Российской Федерации, МПК В 23 К 35/368. Порошковая проволока [Текст] / Н. А. Козырев, В. Ф. Игушев, Д. А. Титов [и др.]; ФГБОУ ВПО “Сибирский государственный индустриальный университет”. — № 2013121468/02 (031580); заявл. 07.05.2013.
26. Пат. 2518035 Российской Федерации, МПК В 23 К 35/368. Порошковая проволока [Текст] / Н. А. Козырев, В. Ф. Игушев, Д. А. Титов, О. Е. Козырева; ФГБОУ ВПО “Сибирский государственный индустриальный университет”. — № 2013128792/02 (042890); заявл. 24.06.2013.

ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННОГО МИКРОКРЕМНЕЗЕМА С ПРИМЕНЕНИЕМ БУРОУГОЛЬНОГО ПОЛУКОКСА

А. Е. АНИКИН¹, канд. техн. наук, anikin1985@rambler.ru;

*Г. В. ГАЛЕВСКИЙ², д-р техн. наук; В. В. РУДНЕВА², д-р. техн. наук; С. Г. ГАЛЕВСКИЙ³, канд. экон. наук
(¹ ООО “Сибпроект”, ² ФГБОУ ВО “Сибирский государственный индустриальный университет”,
³ ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский горный университет”)*

Производство карбида кремния — одно из важнейших в структуре современной металлургии — составляет около 800 тыс. т/год. Крупнейшие сферы использования карбида кремния — это металлургия (около 45 % мирового спроса), производство абразивов (до 30 %) и огнеупоров (до 25 %). Специфика термомеханических, электрофизических, физико-химических свойств карбида кремния предопределяет следующие направления его традиционного и перспективного применения: материалы на связках; керамика конструкционная и функциональная; композиционные материалы и покрытия; поверхностное и объемное модифицирование материалов.

Современное производство карбида кремния почти полностью основано на углеродотермическом способе Ачесона. По этому способу получение карбида кремния осуществляется периодическим блок-процессом в электропечах сопротивления мощностью 4,5–5,5 МВА при температуре 2500–2900 К. Полученный карбид кремния представляет собой кристаллы, сросшиеся в так называемые друзы (куски), которые после разборки электропечи подвергаются дроблению, обогащению и расसेву по фракциям. Товарной продукцией абразивных заводов является зерно карбида различной крупности: шлифзерно (размер 2500–160 мкм), шлифпорошки (размер 160–28 мкм), микропорошки (размер 63–10 мкм), тонкие микропорошки (размер 10–1 мкм). В настоящее время выпускают три вида карбида кремния: черный, зеленый и электротехнический.

В течение достаточно длительного времени потребности металлургии, огнеупорного и керамического производств в карбиде кремния удовлетворялись за счет шлифматериалов абразивного назначения, что неоправданно повышало стоимость огнеупоров и керамики, а в металлургии в отдельных случаях делало применение карбида кремния технологически и экономически нецелесообразным. Ситуация усугублялась по-

стоянным ростом цен на электроэнергию и ужесточением требований национальных экологических законодательств. В связи с этим главные производители карбида кремния — компании Saint-Gobian (Франция), Exolon-ESK (США — ФРГ), Carborundum Co. (США), H. Starck Co. (ФРГ) и др. — в 80-е годы XX в. разработали и освоили технологические процессы производства так называемого безразмольного карбида кремния, получаемого, как правило, из высокодисперсных шихт печным синтезом в виде микропорошков с последующим их химическим обогащением. Исследования в этом направлении проводились и в нашей стране и завершились с положительными научно-прикладными результатами: снижением температуры синтеза с 2500–2900 до 1900 К, т. е. на 600–1000 К, продолжительности синтеза — с 26–29 до 1 ч, расхода электроэнергии — в 2–4 раза; достижением содержания карбида кремния в продуктах синтеза до 90 % (мас.); получением карбида кремния в виде микропорошков крупностью 1–5 мкм; возможностью использования для производства карбида кремния забалансового и техногенного сырья, например, низкокачественных песков, шунгитных пород, микрокремнезема, коксовых пылей и мелочи, полукоксос; возможностью реализации производства карбида кремния в непрерывном режиме, например, с использованием туннельных, трубчатых вращающихся, шахтных печей. В связи с этим было принято решение о внедрении разработок на ряде предприятий Минстанкопрома. Однако произошедшие в стране на рубеже 80–90-х годов прошлого столетия социально-экономические изменения не позволили реализовать намеченные планы.

Следовательно, научное и технологическое обоснование и реализация производства отечественного безразмольного карбида кремния остается актуальной задачей, имеющей важное прикладное значение. В связи с этим целью на-

стоящей работы явилось изучение процессов карбидизации техногенного микрокремнезема полукоксом из бурых углей Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна, технологические свойства которого исследовались авто-

рами ранее и подробно описаны в работах [1, 2]. Технологическая и экономическая целесообразность применения полукокса в качестве углеродных восстановителей подтверждена в работах [3–6].

Термодинамическое моделирование процессов карбидообразования в системах Si–O–C, Si–O–C–H

Термодинамическое моделирование проведено с целью прогнозирования оптимальных параметров получения карбида кремния (соотношения компонентов, температуры и давления в системе), определения равновесных показателей процесса (степени превращения сырья в карбид, составов газообразных и конденсированных продуктов), оценки вклада в процессы карбидообразования отдельных реакций, обеспечивающих в исследуемых условиях эффективную переработку сырья. В связи с использованием в процессе в качестве восстановителя и карбидизатора буроугольного полукокса с содержанием летучих до 10 % объектами исследования явились системы Si–O–C, Si–O–C–H.

Расчет равновесных составов систем Si–O–C и Si–O–C–H проводился “константным” методом. Расчеты выполнялись с использованием программы компьютерного моделирования высокотемпературных сложных химических равновесий PLASM (ИХТТИМ СО РАН), имеющей встроенную базу данных продуктов взаимодействия для оксидо-, боридо-, карбидо- и нитридообразующих систем. При расчетах рассматривалась область температур 800–2000 К при различном давлении в системе: от 0,1 до 0,0001 МПа. Расчеты проводились с шагом в 100 К. Исходными данными служили константы равновесия реакций образования соединений из элементов. При проведении расчетов учитывалась возможность образования в газовой фазе в системе Si–O–C Si, Si⁺, Si⁻, Si₂, Si₃, O, O₂, C, C⁺, C₂, C₃, C₄, C₅, SiO, SiC, SiC₂, Si₃C, CO, CO₂, в системе Si–O–C–H Si, Si⁺, Si⁻, Si₂, Si₃, O, O₂, C, C⁺, C₂, C₃, C₄, C₅, H, H⁺, H₂, CH₂, CH₃, CH₄, C₂H, C₃H, C₄H, C₂H₂, C₂H₄, SiO, SiC, SiC₂, Si₃C, CO, CO₂, в конденсированной фазе в обеих системах Si, SiO₂, C, SiC. Выбор в исследуемых системах соотношений исходных компонентов определялся стехиометрией реакции образования карбида кремния и составом шихтовых материалов. Плодотворность такого подхода при исследовании процессов карбидообразования подтверждена ранее в работах [7, 8].

Результаты расчетов равновесных составов систем Si–O–C и Si–O–C–H для общего давления 0,1 МПа приведены на рис. 1 и 2, а для давления 0,01 и 0,0001 МПа — в табл. 1 и 2.

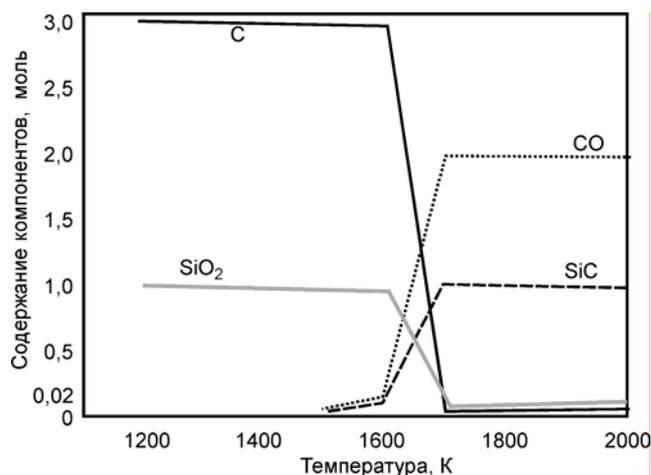


Рис. 1. Зависимость равновесного состава системы Si–O–C от температуры при соотношении Si:O:C = 1:2:3 и давлении P = 0,1 МПа (— конденсированные, --- газообразные продукты)

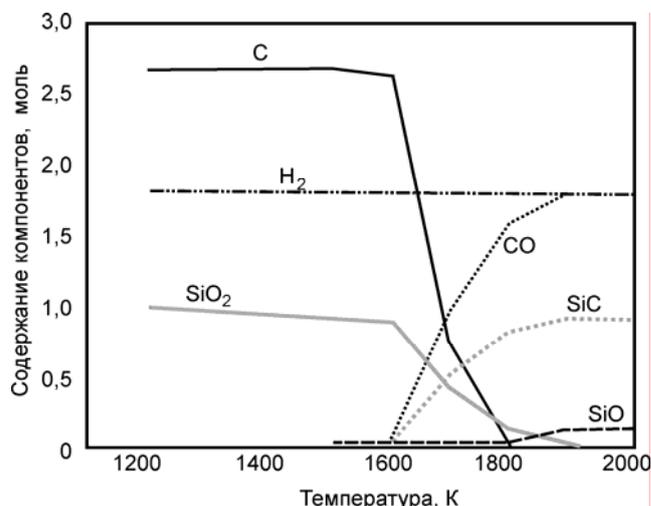


Рис. 2. Зависимость равновесных составов системы Si–O–C–H от температуры при соотношении Si:O:C:H = 1:2:2,7:3,6 и давлении P = 0,1 МПа (— конденсированные, --- газообразные продукты)

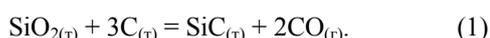
ТАБЛИЦА 1. РАВНОВЕСНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ Si–O–C ПРИ СООТНОШЕНИИ КОМПОНЕНТОВ Si:O:C = 1:2:3, %

T, K	P = 0,01 МПа			P = 0,0001 МПа		
	SiO ₂	C	SiC	SiO ₂	C	SiC
800	62,5	37,5	0	62,5	37,5	0
900	62,5	37,5	0	62,5	37,5	0,02
1000	62,5	37,5	0,01	62,2	37,3	0,52
1100	62,4	37,4	0,2	0	0,3	99,71
1200	61,0	36,7	2,3	0	0,4	99,60
1300	0	0,2	99,8	0	0,6	99,40
1400	0	0,2	99,8	0	1,0	99,0
1500	0	0,3	99,7	0	1,3	98,7
1600	0	0,4	99,6	0	2,0	98,0
1700	0	0,6	99,4	0	2,8	97,2
1800	0	0,9	99,1	0	3,7	96,3

ТАБЛИЦА 2. РАВНОВЕСНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ Si–O–C–H ПРИ СООТНОШЕНИИ КОМПОНЕНТОВ Si:O:C:H = 1:2:2,7:3,6, %

T, K	P = 0,01 МПа			P = 0,0001 МПа		
	SiO ₂	C	SiC	SiO ₂	C	SiC
900	64,94	35,06	0	64,94	35,06	0
1000	64,94	35,06	0	64,94	35,06	0,001
1100	64,94	35,06	0,002	64,84	35,00	0,16
1200	64,74	36,04	0,04	62,54	33,86	3,60
1300	64,54	35,94	0,30	12,47	0	87,53
1400	62,84	34,53	2,63	8,95	0	91,05
1500	51,27	26,61	22,12	0	0	100,00
1600	11,35	0	88,65	0	0	100,00
1700	0	0	100,00	0	0	100,00
1800	0	0	100,00	0	0	100,00
1900	0	0	100,00	0	0	100,00

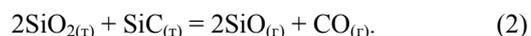
Можно видеть, что в обеих системах процесс карбидообразования является доминирующим:



При стехиометрическом составе шихты максимальное содержание в продуктах карбида кремния достигается при 1700 К, а при 10 %-ном недостатке углерода — при 1900 К. Введение в систему водорода фактически не влияет на процесс карбидообразования, что обусловлено крайне низким (менее 0,001 моль) содержанием в температурной области карбидообразования углеводородов и углеводородных радикалов. В системе Si–O–C равновесная степень превращения кремния в карбид не превышает 0,97 %, что соответствует содержанию монооксида кремния в газовой фазе 0,02 моль. Вследствие этого из шихты стехиометрического состава (SiO₂ + 3C) получить однофазный, не содержащий свобод-

ный углерод, карбид кремния невозможно (см. табл. 2).

Этого можно избежать при использовании шихты с некоторым (~10 %) недостатком углерода-восстановителя (см. табл. 2). В этом случае в системе появляется область сосуществования карбида кремния и избыточного кремнезема. При этом температурная область сосуществования этих фаз тем шире, чем выше давление в системе. Выше этих температур карбид кремния сам является восстановителем для кремнезема, т. е. становится возможным следующее взаимодействие:



В результате этой реакции карбид кремния очищается от избытка кремнезема. Особенно эффективным может быть проведение ее в вакууме.

Методика исследования карбидизации микрокремнезема

Исследование карбидизации микрокремнезема проводилось дискретным методом, включающим термическую обработку брикетированной шихты при заданных температурах и дли-

тельности и закалку продуктов карбидизации с последующим их химическим анализом.

При проведении исследований использовали микрокремнезем, образующийся при производ-

стве кремния (МК-Кр) и высококремнистого ферросилиция (МК-ФС), содержащий диоксида кремния 93,92 и 93,00 % (мас.) соответственно, с удельной поверхностью 25000 м²/кг, а также полукок из бурого угля (БПК) Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна, содержащий, %: углерода — 81,9; летучих — 9,5; золы — 8,6, с удельной поверхностью 264000 м²/кг. Во всех случаях для получения карбида использовали шихты стехиометрического состава.

Исследование температурно-временных условий карбидизации брикетированных моношихт микрокремнезем МК-Кр, МК-ФС-БПК проводилось при температурах 1883, 1923, 1973 К при длительности термической обработки 5, 10, 15, 20, 25, 30 мин.

Термическая обработка шихт проводилась в электропечи сопротивления с цилиндрическим графитовым нагревателем с внутренним диаметром 0,075 м (печь Таммана). Контроль температуры в рабочем пространстве печи проводился с помощью вольфрам-рениевой термопары ВР 5/20. Цилиндрические брикеты массой около $2,5 \times 10^{-3}$ кг и наружным диаметром 0,015 м помещались в графитовые тигли. Три тигля одновременно устанавливались в рабочее пространство нагретой электропечи, нагревались в течение 3–4 мин до заданной температуры, а затем выдерживались в ней в течение заданного промежутка времени — от 5 до 90 мин. По истечении заданного времени графитовые тигли извлекались из электропечи, устанавливались в корундовые стаканы, которые плотно закрывались пробками, и помещались на 10 мин в холодную воду для быстрого охлаждения продуктов карбидизации. Это позволяло предотвратить

окисление продуктов карбидизации кислородом и влагой атмосферы. После охлаждения продукты карбидизации количественно, т. е. без потерь, извлекались из тиглей, взвешивались, помещались в платиновые емкости, заливались раствором смеси азотной кислоты концентрацией 7,5–12,5 М и фтористоводородной концентрацией 2,0–3 М, взятых в объемном отношении 1:(3–5), и кипятились в течение 2,5–3 ч. Обработка карбида кремния смесью азотной и фтористоводородной кислот обеспечивает удаление примесей алюминия, магния, кальция, железа, марганца, никеля, хрома, меди, натрия, калия, кремния и их оксидов и рекомендуется для порошков карбида кремния крупностью от 5 до 200 мкм. В присутствии азотной кислоты металлические примеси и их оксиды образуют растворимые нитратные комплексы, в то время как при обработке одной фтористоводородной кислотой могут образовываться нерастворимые фториды. После остывания нерастворимый остаток, представляющий собой карбид кремния с примесью свободного углерода, отфильтровывался на бумажном фильтре, промывался на фильтре дистиллированной водой и ацетоном, высушивался до постоянной массы и взвешивался. После этого нерастворенный остаток подвергался окислительному обжигу для рафинирования от свободного углерода при температуре 1073–1123 К в течение 1,5–2 ч. По убыли массы рассчитывались содержания в продуктах карбидизации свободного углерода и карбида кремния. По среднему для трех тиглей содержанию карбида кремния рассчитывали его выход как отношение массы практически полученного карбида к теоретически возможной.

Экспериментальные исследования карбидизации шихт микрокремнезем – буроугольный полукок и обсуждение результатов

Результаты исследований представлены на рис. 3 и 4.

В обоих случаях процесс карбидообразования начинается с первых минут и уже к 5-й мин выход карбида при температурах карбидизации 1873, 1923, 1973 К составляет 5,23–7,21, 17,06–22,30, 20,20–23,51 %. Процесс карбидизации завершается при температуре 1973 К к 15-й мин, 1923 К — к 20-й мин. Содержание карбида в продуктах термической обработки шихт составляет 92,5 % для МК-ФС и 94,9 % (мас.) для МК-Кр. Такие температурно-временные условия карбидообразования подтверждаются результатами исследования фазового состава продуктов термической обработки. Установлено, что в обоих случаях к 10-й мин преобладающей фазой

является карбид кремния кубической структуры (β -SiC), частично перестраивающийся при температуре 1923–1973 К и длительности термической обработки 50–90 мин в гексагональную (α -SiC_{II}). При карбидизации шихты микрокремнезем МК-ФС-БПК ему сопутствует α -железо. Во всех исследованных образцах также присутствует стекловидная фаза, образованная, по-видимому, силикатами кальция, магния и железа.

В результате химического обогащения содержание SiC в карбиде превышает 90 %, т. е. уровень, регламентированный для абразивных микропорошков зернистостью 1–2 мкм [9]. Эффективность обогащения от примесей оксидов и железа достаточно высока и составляет 87–95 %. Для карбида кремния характерно

повышенное содержание кремнезема более 7 %, что позволяет рассматривать его как перспективный материал для производства карбидокремниевых огнеупоров на кремнеземной связке, содержащих обычно, %: 84–89 SiC, 6–12 SiO₂ [10].

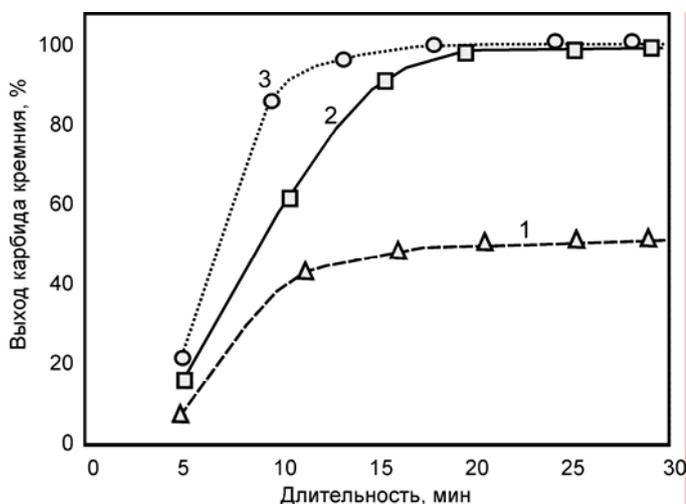


Рис. 3. Зависимость выхода карбида кремния от температуры и длительности термообработки для шихты микрокремнезем МК-ФС-БПК:

- 1 — 1873 К: (Δ) = (7,21–53,13)±(0,20–1,13);
 2 — 1923 К: (□) = (17,06–96,82)±(0,55–1,35);
 3 — 1973 К: (○) = (20,20–97,01)±(0,61–1,45)

Оптимальные условия получения и обогащения карбида кремния и диапазон изменения его основных характеристик для серии из пяти параллельных опытов приведены в табл. 3. Можно видеть, что исследованные технологические ва-

рианты обеспечивают получение карбида кремния с воспроизводимыми фазовым, химическим и гранулометрическим составами и могут рассматриваться в качестве технологической основы для проектирования промышленного производства безразмольного карбида кремния из брикетированной высокодисперсной шихты микрокремнезем – буроугольный полукок.

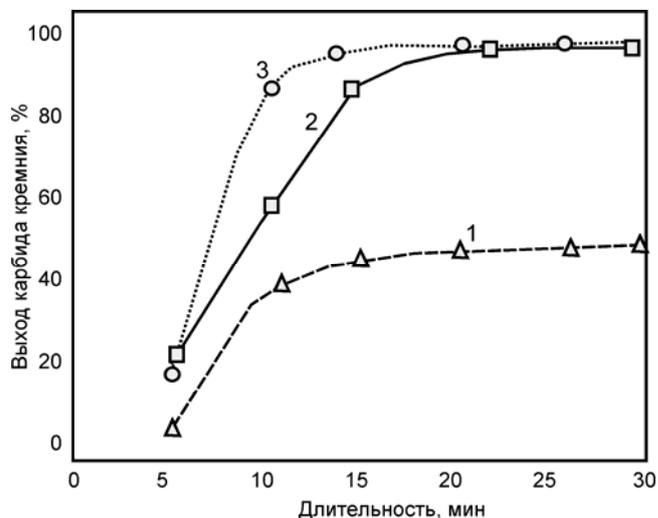


Рис. 4. Зависимость выхода карбида кремния от температуры и длительности термообработки для шихты микрокремнезем МК-Кр-БПК:

- 1 — 1873 К: (Δ) = (5,23–46,26)±(0,19–1,11);
 2 — 1923 К: (□) = (22,30–96,78)±(0,59–1,33);
 3 — 1973 К: (○) = (23,51–97,62)±(0,67–1,38)

ТАБЛИЦА 3. ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБОГАЩЕНИЯ КАРБИДА КРЕМНИЯ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Показатель	SiC (МК-ФС-БПК)	SiC (МК-Кр-БПК)
Состав шихты, %:		
микрокремнезем (МК)	58,80	58,04
буроугольный полукок (БПК)	42,20	41,96
Удельная поверхность компонентов шихты, м ² /кг:		
микрокремнезем	20000–22000	
буроугольный полукок	255000–265000	
Температура карбидизации шихты, К	1923–1973	
Длительность карбидизации шихты, мин	25–20	
Химическое обогащение продуктов карбидизации:		
концентрация раствора соляной кислоты, %	35	
соотношение Т:Ж	1:2	
температура, К	383	
длительность, ч	3	
Фазовый состав	β-SiC	
Химический состав, %:		
SiC	90,42–90,86	90,94–91,18
Al ₂ O ₃	0,10–0,25	0,10–0,15
CaO	0,32–0,53	0,37–0,49
MgO	0,12–0,18	0,03–0,10
Fe	0,08–0,12	0,05–0,11
SiO ₂	7,32–7,94	6,97–7,13

Показатель	SiC (МК-ФС-БПК)	SiC (МК-Кр-БПК)
C _{своб}	0,41–0,54	0,63–0,81
Si _{своб}	0,13–0,17	0,23–0,27
Выход карбида кремния, %	96,84–97,12	97,31–97,63
Крупность и морфология частиц карбида кремния: удельная поверхность, м ² /кг размерный диапазон, мкм форма	8000–9000 0,2–1,0 Неправильная	

Выводы

Проведены термодинамические и экспериментальные исследования процессов восстановительной переработки техногенного микрокремнезема на карбид кремния с применением буроугольного полукокса.

Установлено, что в обеих выбранных для термодинамического анализа системах Si–O–C и Si–O–C–H процесс карбидообразования является доминирующим. При стехиометрическом составе шихты максимальное содержание в продуктах восстановления карбида кремния достигается при 1700 К, а при 10 %-ном недостатке углерода — 1900 К. Второй состав шихты является технологически более предпочтительным, поскольку обеспечивает получение карбида, не содержащего примесей.

Проведена при температурах 1883, 1923, 1973 К и длительности 5–30 мин карбидизация брикетированных моношихт микрокремнезем (МК-ФС и МК-Кр) – буроугольный полукок. Определены оптимальные температурно-временные условия карбидизации: температура 1923–1973 К при длительности 20–15 мин.

Установлена целесообразность и определены

оптимальные условия и показатели химического обогащения продуктов карбидизации: воздействие соляной кислотой концентрации не менее 35 % при температуре 353 К, отношении Т:Ж = 1:2, длительности 3 ч; содержание карбида в продуктах обогащения свыше 90 %; удаление примесей оксидов и железа на 87–95 %.

Исследованы фазовый, химический, гранулометрический составы и морфология частиц карбида кремния обоих технологических вариантов получения. Выявлено, что при карбидизации образуется карбид кубической структуры (β -SiC), частично перестраивающийся при температуре 1923–1973 К и длительности термической обработки 50–90 мин в гексагональную (α -SiC_{II}). Содержание карбида после обогащения составляет 90,42–90,86 % при использовании микрокремнезема МК-ФС и 90,94–91,18 % при использовании микрокремнезема МК-Кр. В обоих случаях карбид кремния получен в виде микропорошка с удельной поверхностью 8000–9000 м²/кг, размерным диапазоном частиц 0,2–1,0 мкм, имеющих неправильную форму.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аникин, А. Е. Буроугольный полукок Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна: производство, свойства, применение [Текст] / А. Е. Аникин, Г. В. Галевский // Вестник СибГИУ. — 2014. — № 3. — С. 52–59.
2. Аникин, А. Е. Производство, свойства и применение буроугольного полукокса Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна [Текст] / А. Е. Аникин, Г. В. Галевский // Труды XVIII Всерос. научно-практич. конф. “Металлургия: технологии, управление, инновации, качество”. — Новокузнецк, 2014. — С. 115–120.
3. Рудыка, В. И. Сталь, уголь, кокс – 2014 и перспектива (аналитический обзор материалов саммита “Европейский кокс 2014”) [Текст] / В. И. Рудыка, В. П. Малина // Кокс и химия. — 2014. — № 7. — С. 15–25.
4. Романов, С. М. Перспективы развития добычи, переработки и использования бурых углей в России [Текст] / С. М. Романов // Уголь. — 2009. — № 1. — С. 15–17.
5. Страхов, В. М. Научные и производственные аспекты получения специальных видов кокса для электротермических производств [Текст] / В. М. Страхов // Кокс и химия. — 2008. — № 9. — С. 44–49.
6. Страхов, В. М. Проблемы с углеродными материалами для рудной и химической электротермии и пути их решения [Текст] / В. М. Страхов // Там же. — 2010. — № 8. — С. 29–33.
7. Ноздрин, И. В. Синтез и эволюция дисперсности боридов и карбидов ванадия и хрома в условиях плазменного потока [Текст] / И. В. Ноздрин, Г. В. Галевский, Л. С. Ширяева, М. А. Терентьева // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2011. — № 10. — С. 12–17.
8. Ширяева, Л. С. Исследование плазменного синтеза нанокарбида хрома [Текст] / Л. С. Ширяева, И. В. Ноздрин, Г. В. Галевский, В. В. Руднева // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: сб. науч. трудов. — Новокузнецк: СибГИУ, 2012. — № 29. — С. 94–101.
9. Гаршин, А. П. Абразивы и материалы конструкционного назначения на основе карбида кремния [Текст] / А. П. Гаршин, В. М. Шумячкер, О. И. Пушкарев. — Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. — 189 с.
10. Сорлье, М. Катоды алюминиевого электролизера [Текст] / М. Сорлье, Х. А. Ойя, П. В. Поляков. — Красноярск: Версо, 2013. — 720 с.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ ПОСЛЕ ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Д. А. БОЛДЫРЕВ, д-р техн. наук, проф., Denis.Boldyrev@yaz.ru; Л. И. ПОПОВА, канд. физ.-мат. наук (ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»)

Увеличение температуры перегрева жидкого чугуна с 1300 до 1600 °С приводит к росту размеров аустенитных зерен и уменьшению длины графитных пластин. С увеличением времени выдержки расплава чугуна размеры аустенитных зерен увеличиваются менее значительно, чем при повышении температуры, при этом пролонгация выдержки при 1600 °С позволяет измельчить графитные включения от пластинчатых до точечных. Модифицирование расплава чугуна ФС75 при температурах 1300 и 1450 °С с последующей выдержкой 20, 55 и 90 мин не оказало существенного влияния на структуру чугуна. При 1600 °С изменился характер включений фосфидной эвтектики с Ф3 до Ф5. Модифицирование комплексом РЗМ + ФС75 при 1300 °С привело к увеличению компактности графита при малых выдержках. При температуре 1450 °С и малых выдержках усиливается ферритизация металлической основы чугуна, с увеличением времени выдержки возрастает количество ледебурита в структуре с образованием компактного и вермикулярного графита. При температуре 1600 °С наблюдается выделение точечного графита, при малых выдержках усиливается ферритизация матрицы около включений точечного графита. При длительных выдержках наблюдается выделение неметаллических включений типа сульфидов редкоземельных металлов (РЗМ) [1].

Модифицирование чугуна РЗМ при температуре 1300 °С существенно не повлияло на его структуру за исключением нерастворившихся включений лигатуры. При температуре 1450 °С с увеличением времени выдержки образуется вермикулярный графит, увеличивается количество ледебурита и появляется бейнитная составляющая в центральных зонах дендритов. При перегреве до 1600 °С образуется вермикулярный графит (при 20- и 55-мин выдержке), усиливается отбел вплоть до сплошного при 90-мин выдержке. В центре дендритов наблюдается бейнитная составляющая, на периферии — перлит, обнаруживаются также трещины и включения нерастворившейся лигатуры. При модифицировании как РЗМ, так и комплексом РЗМ + ФС75 увеличение температуры перегрева рас-

плава и времени выдержки приводит к образованию игольчатых мартенситных форм. В структуре закристаллизовавшегося металла увеличение температуры и времени выдержки расплава вызывает образование закалочных фаз и структурных составляющих. В немодифицированном чугуне и чугуне, модифицированном ФС75, при структурообразовании увеличивается количество и размер цементитных включений в составе фосфидной эвтектики, в чугунах, модифицированных присадками РЗМ, — в образовании и увеличении количества ледебурита, а при температурах 1450, 1600 °С и выдержке 55 и 90 мин — в образовании бейнита в центре первичных аустенитных зерен [2–4].

Анализ полученных данных показал, что с увеличением температуры перегрева расплава и/или времени выдержки при перегреве возрастает относительное содержание цементита в структуре чугуна. Модифицирование РЗМ в наибольшей степени увеличивает содержание свободного цементита в структуре чугуна, особенно при температуре 1600 °С. Модифицирование расплава чугуна комплексом РЗМ + ФС75 позволяет уменьшить поверхностный отбел и снизить содержание свободного цементита в структуре чугуна.

Изменение механических свойств чугуна находится в соответствии с изменением его структуры (рис. 1–4). Увеличение температуры и времени выдержки расплава чугуна приводит к повышению его твердости. Рост температуры при небольших выдержках вызывает возрастание прочности во всем исследованном интервале температур (1300–1600 °С). Выдержке 90 мин при температуре 1450 °С соответствует экстремум, после которого при дальнейшем увеличении температуры наблюдается резкое падение прочности. Аналогичным образом характеризуется и изменение ударной вязкости чугуна. Исследование механических свойств и структуры чугуна в зависимости от времени выдержки (X_1) и температуры расплава (X_2) проводилось с использованием симметричного композиционного ортогонального плана. В качестве отклика выбирался предел прочности (σ_B), ударная вязкость (КС), твердость по Бринеллю (НВ), период решетки феррита (a , Å) и интенсивность линии це-

ментита (J , имп/с). Окончательно матрица такого плана с $N = 2^k + 2k + n_0 = 2^2 + 2 \cdot 2 + 1 = 9$ опытами представлена в табл. 1.

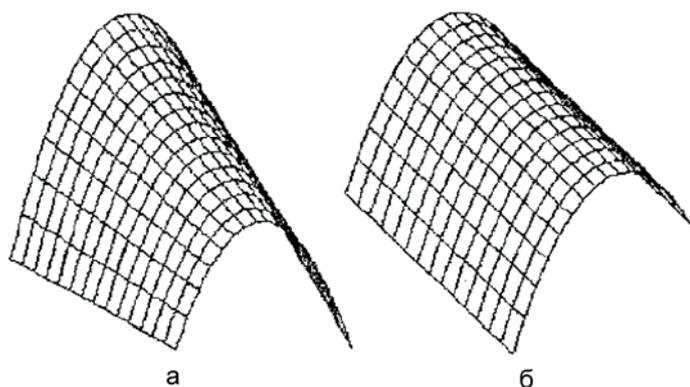


Рис. 1. Зависимость предела прочности $\sigma_{в}$ от времени выдержки $\tau_{в}$ и температуры расплава $T_{п}$ немодифицированного (а) и модифицированного ФС75 (б) чугуна:
 $\sigma_{вmax} = 283/303$ МПа при $\tau_{в} = 90/90$ мин, $T_{п} = 1520/1515$ °С;
 $\sigma_{вmin} = 153/85$ МПа при $\tau_{в} = 20/20$ мин, $T_{п} = 1300/1300$ °С

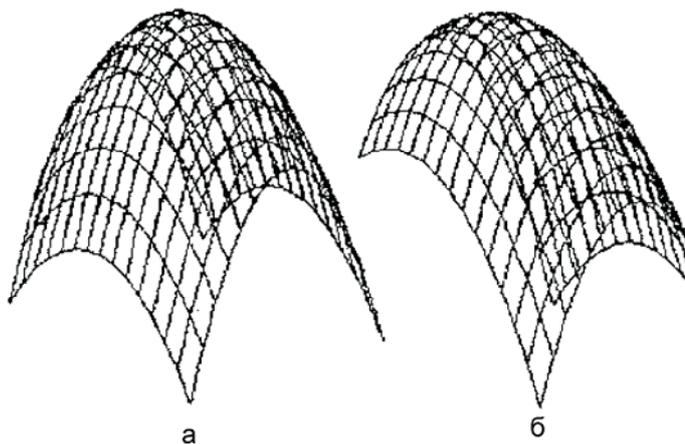


Рис. 2. Зависимость ударной вязкости $KС$ от времени выдержки $\tau_{в}$ температуры расплава и $T_{п}$ немодифицированного (а) и модифицированного ФС75 (б) чугуна:
 $KС_{max} = 6,35/6,07$ КДж/м² при $\tau_{в} = 69/75$ мин,
 $T_{п} = 1470/1440$ °С; $KС_{min} = 4,40/3,63$ КДж/м²
 при $\tau_{в} = 20/20$ мин, $T_{п} = 1300/1300$ °С

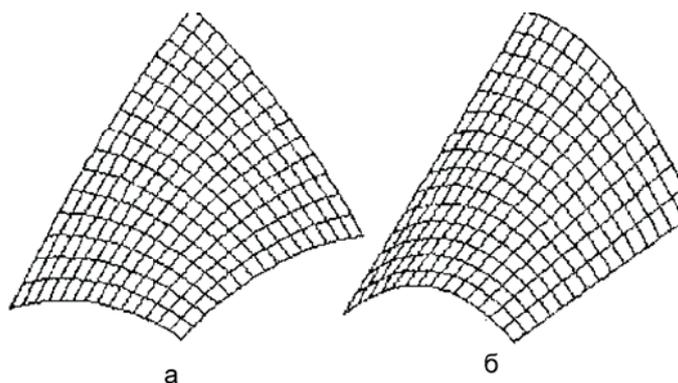


Рис. 3. Зависимость твердости $HВ$ от времени выдержки $\tau_{в}$ и температуры расплава $T_{п}$ немодифицированного (а) и модифицированного ФС75 (б) чугуна:
 $HВ_{max} = 250/259$ при $\tau_{в} = 90/90$ мин, $T_{п} = 1600/1600$ °С;
 $HВ_{min} = 154/149$ при $\tau_{в} = 20/20$ мин, $T_{п} = 1300/1300$ °С

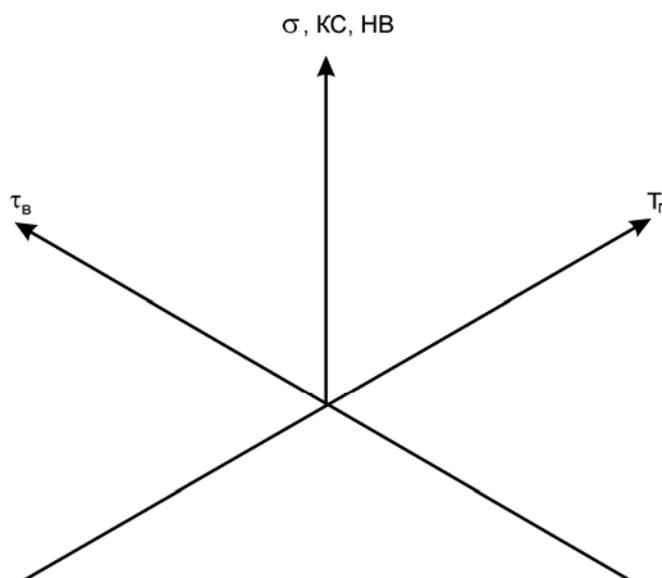


Рис. 4. Направление осей координат

ТАБЛИЦА 1. СИММЕТРИЧНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ ОРТОГОНАЛЬНЫЙ ПЛАН 2-го ПОРЯДКА

№ п/п	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	$\sigma_{в}$, МПа		$KС$, Дж/м ²	
					исх.	ФС75	исх.	ФС75
1	+1	+1	+1	+1	258	233	5,1	4,5
2	+1	-1	+1	-1	188	191	5,4	4,8
3	+1	+1	-1	-1	173	174	4,8	4,8
4	+1	-1	-1	+1	166	133	4,8	4,1
5	+1	+1	0	0	309	361	7,0	6,7
6	+1	-1	0	0	165	122	4,8	3,8
7	+1	0	+1	0	219	272	5,7	4,8
8	+1	0	-1	0	188	112	5,1	4,8
9	+1	0	0	0	231	231	6,0	6,0

№ п/п	НВ			а, Å		J, имп/с (Fe ₃ C)		
	исх.	ФС75	РЗМ	исх.	ФС75	исх.	ФС75	РЗМ
1	250	250	460	2,8573	2,8592	532	473	1426
2	190	200	220	2,8592	2,8610	400	363	722
3	175	165	215	2,8598	2,8621	425	442	495
4	160	160	185	2,8600	2,8623	319	246	310
5	215	230	390	2,8596	2,8611	455	420	528
6	170	160	150	2,8599	2,8618	364	308	360
7	225	245	255	2,8585	2,8602	475	440	1254
8	160	165	215	2,8602	2,8624	378	297	432
9	200	195	270	2,8598	2,8619	405	390	451

По результатам всех девяти опытов матрицы планирования с помощью известных формул [5] и использованием констант a_i рассчитывались все коэффициенты регрессии, их дисперсии и среднеквадратичные ошибки, а затем доверительные интервалы для каждой группы коэффициентов при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Сравнение абсолютных значений рассчитанных коэффициентов регрессии с их доверитель-

ными интервалами позволило выбрать статистически значимые значения коэффициентов ($B_{ii} \geq \varepsilon$) и отбросить коэффициенты регрессии с неподтвержденной значимостью для принятой доверительной вероятности. Полученные в кодированных переменных уравнения регрессии приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ В КОДИРОВАННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Свойства чугуна	Модифицирование	B_0	X_1	X_2	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2
σ_b , МПа	Исх.	237,1	36,83	23	15,17	—	-39,5
	ФС75	240,03	53,66	46,2	—	—	-55,2
КС, кДж/м ²	Исх.	6,27	0,33	0,25	—	-0,42	-0,87
	ФС75	5,91	0,55	—	-0,25	-0,49	-0,99
НВ	Исх.	199,99	20,0	28,334	11,25	-4,575	-4,58
	ФС75	203,63	20,83	34,167	11,25	-10,45	—
	РЗМ + ФС75	264,75	85,0	53,3	52,5	19,4	-15,6
а, Å	Исх.	2,8883	-0,0004	-0,0008	0,00044	—	—
	ФС75	2,8902	-0,0005	-0,0011	0,0004	—	—
	РЗМ + ФС75	2,8897	-0,0007	-0,0013	0,00026	—	—
J, имп/с (Fe ₃ C)	Исх.	418,57	54,83	47,5	—	-9,755	7,24
	ФС75	391,3	53,0	65,17	—	-22,465	-18,0
	РЗМ + ФС75	507,73	176,17	360,84	129,75	-82,13	316,9

В соответствии с условиями данного эксперимента кодированные (X_i) и натуральные (X_j) значения факторов связаны соотношениями:

$$X_i = (X_i - X_{i0})/\Delta X_i; X_j = X_{j0} + X_i \Delta X_i, \quad (1)$$

где ΔX_i — интервал варьирования;

$$X_1 = (X_1 - 55)/35; X_2 = (X_2 - 1450)/150. \quad (2)$$

Интерпретация результатов экспериментальных исследований

На линии ликвидус, в области чугунов, атомы углерода находятся в слабоковалентном состоянии $C_k^{0,17-}$ для концентрации 3,28 %, $C_k^{0,32-}$ — для концентрации 4,34 %, $C_k^{0,42-}$ — для концентрации 5,03 %, $C_k^{0,51-}$ — для концентрации 5,71 % и $C_k^{0,64-}$ — для концентрации 6,67 % углерода.

Атомы железа на линии ликвидус находятся в ионизированном состоянии Fe^{1+} , Fe^{2+} , Fe^{4+} , Fe^{6+} , Fe^{8+} и Fe^{10+} для концентраций углерода 2,78; 3,28; 4,34; 5,03; 5,71 и 6,67 %. При температуре 1300 °С для концентрации углерода в чугуне 3,61 % атомы углерода находятся в расплаве в ковалентном состоянии $C_k^{1,5-}$, так как эта температура располагается на 106 °С ниже линии ликвидус (1406 °С) и атомы углерода с железом образуют ковалентные связи. Атомы угле-

рода заполняют уровень $2p^2$ до $2p^6$, присоединяя четыре электрона по схеме $C^0 \rightarrow C_K^{1-} \rightarrow C_K^{1,5-} \rightarrow C_K^{2-} \rightarrow C_K^{3-} \rightarrow C_K^{4-}$, переходя от металлического состояния $-C^0$ (радиус 0,55 Å) к ковалентному C_K^{4-} с радиусом 0,77 Å. Ковалентный атом углерода C_K^{4-} переходит в ионный атом $C_{и}^{4-}$, одна из связей которого остается ковалентной [6]. На основе ионного атома углерода образуется графит. С увеличением температуры расплава происходит переход атомов углерода из ковалентного состояния $C_K^{1,5-}$ (0,64 Å) при температуре 1300 °С в слабо ионизированное состояние при температуре 1450 °С — $C^{0,03+}$ (0,543 Å) и в ионизированное состояние при температуре 1600 °С — $C^{0,3+}$ (0,473 Å), что выше линии ликвидус на 44 и 194 °С соответственно. Атомы железа также находятся в расплаве в ионизированном состоянии Fe^{1+} , Fe^{2+} , что способствует их объединению с атомами углерода в микрогруппировки Fe–C, в то время как межатомные связи одноименных атомов [C–C] и [Fe–Fe] ослабляются. При времени выдержки чугуна 20 мин сохраняется стимулирующее ферритообразование ионизированное состояние атомов уг-

лерода. С увеличением времени выдержки расплава до 55 и 90 мин при температуре 1450 °С происходит сдвиг механизма кристаллизации доэвтектического чугуна в сторону механизма кристаллизации эвтектического и заэвтектического чугунов с переходом атомов углерода из ионизированного в ковалентное состояние: $C^{0,03+} \rightarrow C^0 \rightarrow C_K^{0,17-} \rightarrow C_K^{0,32-} \rightarrow C_K^{0,42-}$, ионизация атомов железа при этом возрастает до уровня Fe^{3+} , Fe^{4+} , Fe^{5+} , Fe^{6+} . В результате в структуре выделяется ледебурит и образуется бейнитная составляющая в центре дендритных зерен. При температуре 1600 °С и времени выдержки 55 и 90 мин также происходит переход атомов углерода из ионизированного в ковалентное состояние: $C^{0,3+} \rightarrow C^0 \rightarrow C_K^{0,32-} \rightarrow C_K^{0,42-} \rightarrow C_K^{0,51-} \rightarrow C_K^{0,64-} \rightarrow C_K^{1-}$, степень ионизации атомов железа еще более возрастает до уровня Fe^{8+} , Fe^{9+} , Fe^{10+} , в результате повышается склонность к отбелу и после 90-мин выдержки кристаллизуется белый чугун. Усилению связей Fe–C также способствует модифицирование чугуна РЗМ, что приводит к увеличению склонности чугуна к отбелу и образованию бейнитных структур при кристаллизации.

Выводы

1. Оптимальным условием для образования вермикулярного графита является модифицирование чугуна комплексом РЗМ + ФС75 при температуре 1450 °С и времени выдержки расплава 20 мин.
2. Увеличение температуры и времени выдержки расплава чугуна, модифицированного присадками РЗМ, приводит к увеличению количества ледебурита в структуре.
3. Перегрев металла, модифицированного присадками РЗМ, свыше 1450 °С способствует

появлению мартенсита и игольчатого цементита в центральных зонах дендритов.

4. В расплаве чугуна после длительной выдержки при температуре 1600 °С и обработки РЗМ-содержащими модификаторами появляются неметаллические включения комплексных сульфидов РЗМ.

5. Перегрев металла до 1600 °С способствует трещинообразованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цвеленьев, Б. В. Влияние термовременной обработки расплава на структуру модифицированного чугуна [Текст] / Б. В. Цвеленьев, Л. В. Перегудов, Е. Г. Евдокимов // *Vysokoteplovne Materialy – Nekonvencne Metalurgie*. — CSVTS: Bratislava, 1983. — S. 163–166.
2. Перегудов, Л. В. Влияние термовременной обработки расплава на структуру и свойства высокопрочного чугуна [Текст] / Л. В. Перегудов, Е. Г. Евдокимов, М. М. Малашин // *Литейное производство*. — 1983. — № 12. — С. 10–11.
3. Евдокимов, Е. Г. Исследования технологических параметров плавки и модифицирования чугуна [Текст] / Е. Г. Евдокимов, Л. В. Перегудов, Б. В. Цвеленьев // *Повышение качества фасонных отливок и экономия металла при их производстве*. — Краматорск, 1984. — С. 70–72.
4. Евдокимов, Е. Г. Исследование параметров плавки и модифицирования чугуна [Текст] / Е. Г. Евдокимов, С. В. Хохлов, Б. В. Цвеленьев // *Литейное производство*. — 1999. — № 4. — С. 14–16.
5. Новик, Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов [Текст] / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. — М.: Машиностроение, 1980. — 304 с.
6. Евдокимов, Е. Г. Генезис электронной конфигурации в железоуглеродистых сплавах [Текст] / Е. Г. Евдокимов, А. А. Баранов, А. И. Вальтер. — Тула: ТулГУ, 2004. — 192 с.

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Л. И. АНДРЕЕВА¹, д-р техн. наук, tehnorem74@list.ru; Ю. Ю. УШАКОВ², канд. техн. наук
 (¹ Челябинский филиал ФГБУН "Институт горного дела Уральского отделения РАН",
² ООО НИИОГР)

Повышение уровня развития, организации и обеспечения успешного функционирования горных предприятий во многом достигается поддержанием в работоспособном состоянии подвижного состава за счет сбалансированного развития, эффективного использования и рационального распределения ресурсов производственно-технической базы этих предприятий, организации технологического процесса технического обслуживания и ремонта большегрузных карьерных автосамосвалов [1].

Доля автотранспортных затрат в общей себестоимости добычи открытым способом на российских горнодобывающих предприятиях существенна и достигает по мере роста глубины карьеров (разрезов) 70 % [2]. Вместе с тем фактическая производительность карьерных автосамосвалов значительно ниже их технико-технологических возможностей и эта разница составляет до 2,5 раз и более по различным маркам машин, в том числе и импортным (рис. 1). При этом более половины потерь производительности карьерных автосамосвалов обусловлены состоянием системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) [3, 4].

Одной из основных причин высоких издержек и аварийности машин является несоответствие объемов ремонтных воздействий, оказываемых на карьерные автосамосвалы при выбранной стратегии проведения технического обслуживания и ремонта, условиям эксплуатации, испытываемым нагрузкам и фактическому техническому состоянию этих машин [5]. Указанное несоответствие вызывает усиленную нагрузку на узлы и агрегаты автосамосвалов, что приводит к аварийности этих машин.

В связи с этим в современных условиях возникает необходимость решения задач, связанных с формированием оптимальных режимов проведения технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов с учетом конкретных условий их эксплуатации.

Практикой эксплуатации карьерного автотранспорта на ряде горнодобывающих предприятий Севера, Бурятии и Красноярска установлено, что срок эксплуатации не оказывает определяющего влияния на производительность автосамосвалов, затраты на их ремонтное обслуживание, и его роль при оценке фактического технического состояния автосамосвалов неоднозначна (рис. 2) [6].

Техническое состояние карьерного автотранспорта во многом определяется состоянием его основных узлов и агрегатов. Для планирования уровня надежности единицы техники на предприятиях принято использовать коэффициент технической готовности. Данный показатель не регламентируется ГОСТ 27.002–2015 "Надежность в технике. Термины и определения", носит субъективный характер, как правило, рассчитывается по различным методиками и не используется как индикатор управления технической готовностью автосамосвалов [7, 8].

В связи с этим целесообразно оценивать качественную характеристику объекта и его элементов коэффициентом дефектности, который является стандартизированным показателем (ГОСТ 15467–79) и определяет средневзвешенное количество дефектов, приходящихся на единицу техники.



Рис. 1. Годовая производительность автосамосвалов

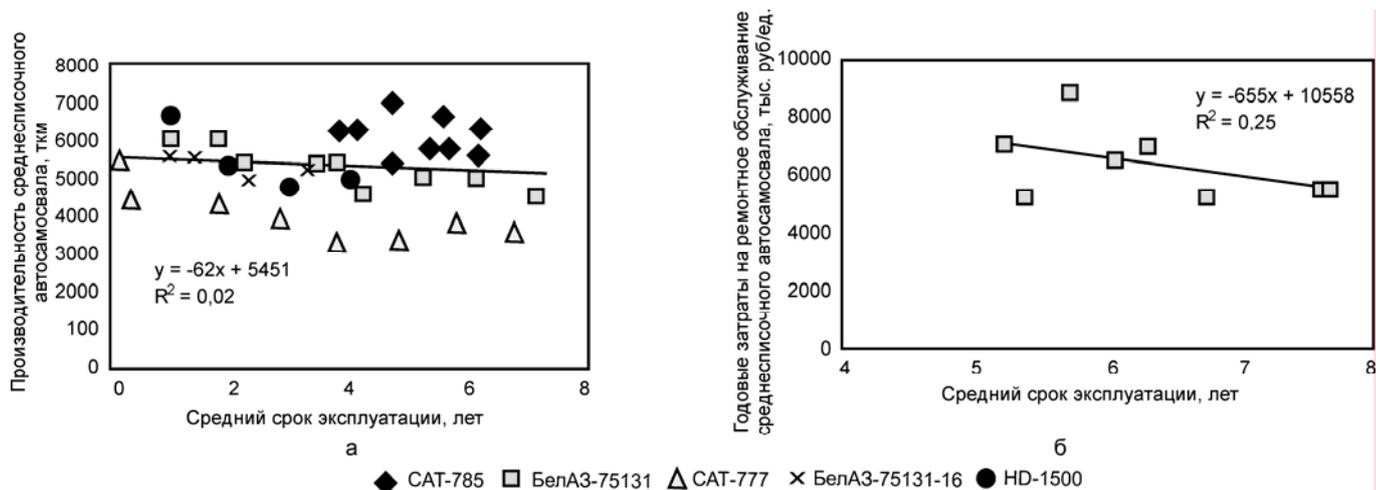


Рис. 2. Зависимость эксплуатационных показателей от срока службы автосамосвалов (2004–2012 гг.):

а — зависимость производительности среднесписочного автосамосвала от срока эксплуатации (по маркам машин);
 б — зависимость годовых затрат на ремонтное обслуживание автосамосвалов от срока эксплуатации (по парку машин)

Коэффициент дефектности D вычисляют по формуле

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{\alpha} m_i r_i, \quad (1)$$

где n — выборка единиц техники; α — количество видов дефектов; m_i — число дефектов каждого вида в выборке, $i = 1, 2, \dots, \alpha$; r_i — коэффициент весомости дефекта (определяется экспертным методом или по относительной стоимости устранения дефекта данного вида).

Расчет коэффициента дефектности для автосамосвалов БелАЗ-75130 (12 ед.) позволил выявить взаимосвязь удельного грузооборота с коэффициентом дефектности автосамосвалов, которая характеризуется экспоненциальной зависимостью ($R^2 = 0,62$). Максимальное значение показателя дефектности не должно превышать суммарную наработку автосамосвала в месяц с вероятностью отказа 75–80 % (рис. 3).

Расчетами установлено, что для автосамосвалов АО «Ковдорский ГОК» коэффициент дефектности находится в пределах 0,65–0,75, что характеризует их достаточную надежность и ве-

роятность безотказной работы в установленных пределах значения всех параметров (гамма-процентный ресурс $\gamma = 75\text{--}80\%$). Это позволяет с определенной точностью планировать ремонтные воздействия на каждую единицу техники, не допуская отказы III–IV категории тяжести их последствий (см. таблицу) [9].

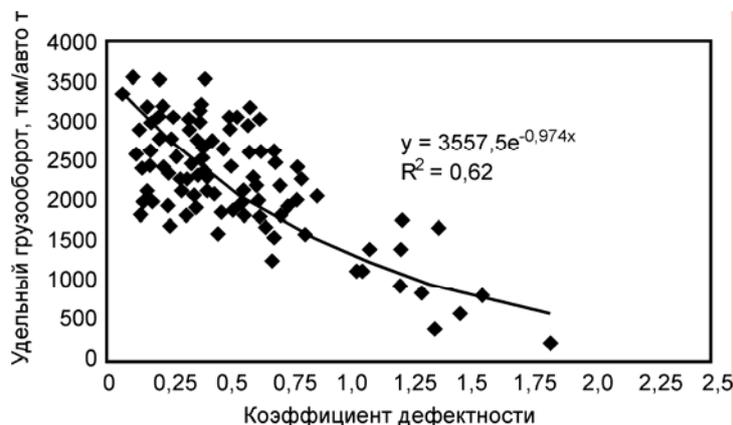


Рис. 3. Зависимость удельного грузооборота автосамосвалов БелАЗ-75130 от коэффициента дефектности

ПРИМЕР ШКАЛЫ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ КАТЕГОРИИ ТЯЖЕСТИ ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗОВ

Категория тяжести последствий отказов	Характеристика тяжести последствий отказов	Коэффициент дефектности	Удельный грузооборот, ткм/авто т
IV	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или окружающей среды, гибель или тяжелые травмы людей, срыв выполнения поставленной задачи	>1,3	<1000
III	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или для окружающей среды, срыв выполняемой задачи, но создает пренебрежимо малую угрозу жизни и здоровью людей	0,6–1,3	1000–2000

Категория тяжести последствий отказов	Характеристика тяжести последствий отказов	Коэффициент дефектности	Удельный грузооборот, ткм/авто т
II	Отказ, который может повлечь задержку выполнения задачи, снижение готовности и эффективности объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей	0,2–0,6	2000–3000
I	Отказ, который может повлечь снижение качества функционирования объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей	0–0,2	>3000

Анализ показателей системы ТОиР карьерного автотранспорта показал, что для большинства горнодобывающих предприятий характерным является сохранение роста ремонтов, связанных с отказом автосамосвалов при снижении количества и объема профилактических работ, т. е. основной функцией системы ТОиР является в большей части ситуационное реагирование. Данный факт обусловлен преимущественно несоответствием применяемой на предприятии стратегии технического обслуживания и ремонта эксплуатационным нагрузкам автосамосвалов, что в конечном итоге приводит к росту количества внезапных отказов и, соответственно, уменьшению наработки (рис. 4).

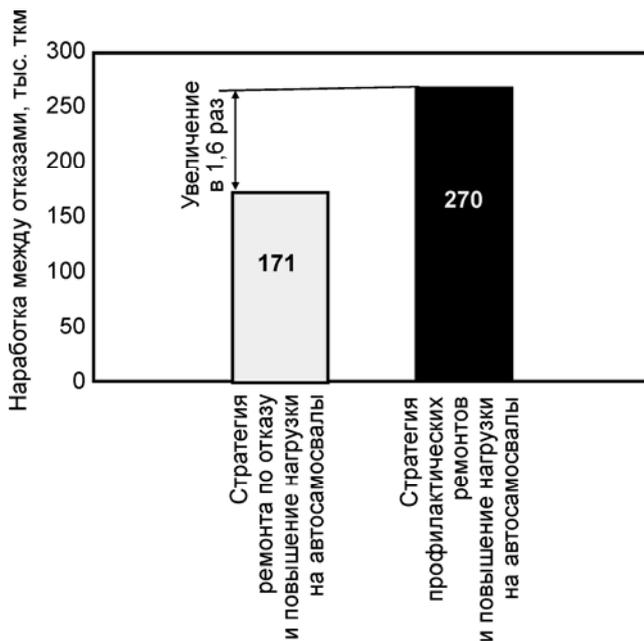


Рис. 4. Взаимосвязь стратегии технического обслуживания и ремонта с нагрузкой на автосамосвалы БелАЗ-75131

Таким образом, в ОАО «Черногорский разрез» при изменении стратегии с ремонта по отказу на стратегию профилактики наработка между отказами увеличилась в 1,6 раза.

Для каждого типа горнотранспортного оборудования, в частности автосамосвалов, завод-изготовитель рекомендует оптимальные режимы плановых ремонтных воздействий на узлы и агрегаты автосамосвалов с целью рационального

использования машин в течение жизненного цикла. Отклонения от нормативных сроков периодичности ремонтных воздействий, как правило, приводят к ускоренному снижению ресурса деталей, узлов и машин в целом.

Система показателей, применяемых для оценки эффективности системы ТОиР, должна быть доступной, понятной и несложной для эффективной организации учета, отчетности и анализа показателей, позволять оценивать деятельность ремонтных служб с учетом выполнения задач предприятия, отражать уровень использования ресурсов.

Исходя из этого для оценки эффективности системы ТОиР карьерного автотранспорта предложены следующие показатели:

- стоимость машино-часа готовности, выраженная в затратах на ремонтное обслуживание автосамосвалов;

- своевременность устранения дефектов — коэффициент устраняемости дефектов, характеризующий устранение большего количества дефектов во время плановых остановок для улучшения показателя — среднее время между остановками;

- плановость ремонтного обслуживания — коэффициент плановости, характеризующий точность выполнения объема ремонтных работ.

Предложенный комплекс показателей одновременно характеризует качество подготовки к плановым ремонтам, техническое состояние автосамосвалов и оперативность выполнения ремонтных работ по приемлемой стоимости.

Стоимость машино-часа готовности определяется по формуле, руб/маш.-ч:

$$C_{\text{мчГ}} = \frac{\sum Z_p}{\text{МЧГ}}, \quad (2)$$

где $\sum Z_p$ — затраты на ремонтное обслуживание за учетный период, руб.; МЧГ — машино-часы готовности техники за учетный период, ч:

$$\text{МЧГ} = T_{\text{КФВ}} - \sum T_{\text{РН}} - \sum T_{\text{РП}} - \sum T_{\text{пер}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{КФВ}}$ — календарный фонд времени (8760 ч); $\sum T_{\text{РН}}$ — время неплановых ремонтов, ч; $\sum T_{\text{РП}}$ —

время плановых ремонтов, ч; $\sum T_{\text{пер}}$ — время, связанное с перегонем машин, ч.

Коэффициент плановости ремонтного обслуживания:

$$K_{\text{пл}} = \frac{T_{\text{пл.рем}}}{\sum (T_{\text{ТО}} + T_{\text{ТР}} + T_{\text{НР}})}, \quad (4)$$

где $T_{\text{пл.рем}}$ — время плановых ремонтов; $\sum (T_{\text{ТО}} + T_{\text{ТР}} + T_{\text{НР}})$ — суммарное время технического обслуживания, текущих ремонтов, неплановых ремонтов, включая ремонты, связанные с отказом.

Коэффициент устранимости дефектов

$$K_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{уд}}}{N_{\text{в.д}}} K_{\text{к}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{уд}}$ — количество устраненных дефектов; $N_{\text{в.д}}$ — количество выявленных дефектов; $K_{\text{к}}$ — корректирующий коэффициент: $K_{\text{к}} = 1$, если дефекты устранены в срок с момента их выявления; $K_{\text{к}} = 0,8$, если дефекты устранены с опозданием до 2 ч; $K_{\text{к}} = 0,5$, если дефекты устранены с опозданием до 4 ч; $K_{\text{к}} = 0,2$, если дефекты устранены с опозданием до 6 ч; $K_{\text{к}} = 0,1$, если дефекты устранены с опозданием свыше 6 ч.

С применением формул (4) и (5) при расчете были получены корреляционные зависимости эффективности технического обслуживания и ремонта карьерного автотранспорта от плановости ремонтов ($K_{\text{пл}}$) и своевременности устранения дефектов ($K_{\text{уд}}$) узлов и агрегатов (рис. 5). Повышение плановости ремонта и своевременности устранения дефектов сопровождается снижением финансовых затрат на ремонт.

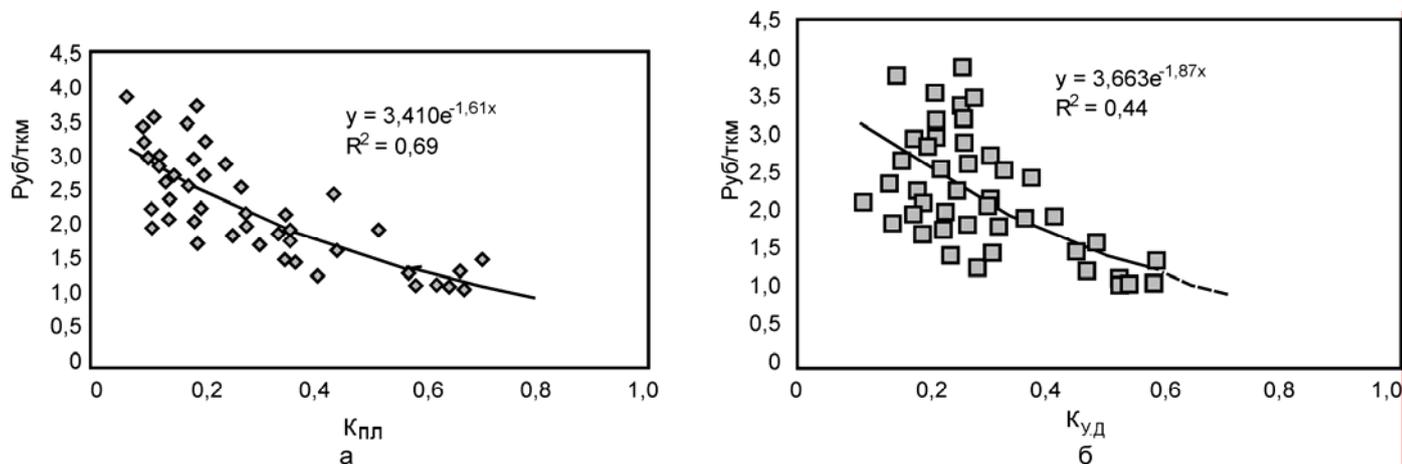


Рис. 5. Зависимость эффективности эксплуатации автосамосвалов БелАЗ-7513, БелАЗ-75306 от коэффициентов плановости ремонта и своевременности устранения дефектов:

а — зависимость коэффициента плановости ремонтов от стоимости ремонтного обслуживания;
б — зависимость коэффициента устранимости дефектов от стоимости ремонтного обслуживания

Работоспособность машин достигается при минимальном времени устранения дефектов, что в итоге обеспечивает приемлемую для каждого предприятия стоимость машино-часа готовности автосамосвалов.

В связи с этим на основании методического подхода к оценке эффективности эксплуатации горно-транспортного оборудования произведено распределение карьерного автотранспорта по показателям: стоимость машино-часа готовности и время производительной работы автосамосвалов (рис. 6).

Математическое ожидание: $M(x) = 3524$ маш.-ч; $M(y) = 1488$ руб./маш.-ч — средние значения случайной величины. Среднеквадратичное отклонение: $\sigma_{\phi} = 833$ маш.-ч; $\sigma_{\gamma} = 605$ руб./маш.-ч — интервалы изменения случайной величины.

Объекты классифицировались по двум признакам: стоимость машино-часа готовности — экономический показатель и время производительной работы — показатель качества функционирования системы ремонтного обслуживания.

Таким образом, после определения средних значений с использованием нормального закона распределения случайных величин получим четыре области, которые разделяют элементы с различной степенью предпочтений по этим двум критериям — экономическому и функциональному. Такое распределение позволяет производить анализ объектов по их качественным и количественным характеристикам и таким образом определять для каждой группы машин рациональные значения.

нальную нагрузку в заданных условиях эксплуатации.

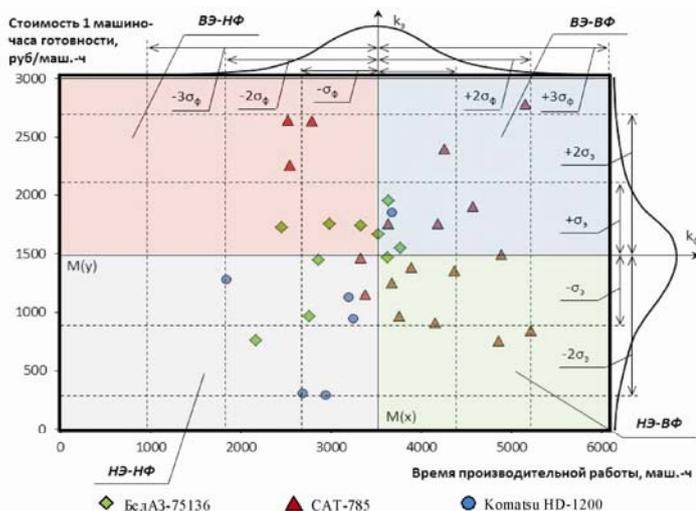


Рис. 6. Распределение автосамосвалов по стоимости 1 машино-часа готовности и времени производительной работы:

k_e — экономический критерий; k_f — функциональный критерий; НЭ-ВФ — низкий экономический показатель при высоком значении функционального, наиболее предпочтительный вариант; ВЭ-ВФ — высокий экономический показатель — высокий функциональный, характерно для тех случаев, когда не приходится считаться со стоимостью для обеспечения высоких функциональных показателей. В основном в данной области находятся новые машины, находящиеся на сервисном обслуживании; ВЭ-НФ — высокий экономический — низкий функциональный, наименее привлекательный вариант; НЭ-НФ — низкий экономический показатель — низкий функциональный, обусловлен лимитированием финансовых затрат и других ресурсов на техническое обслуживание и ремонт автосамосвалов

Работоспособность карьерных автосамосвалов, выраженная временем производительной работы, является следствием фактического технического состояния автосамосвалов, которое определяется действующей системой ТОиР на предприятии. В соответствии с этим работоспособность автосамосвалов необходимо обеспечивать путем расчета параметров системы ТОиР, оценки ее эффективности, разработки и реализации технико-технологических и организационных решений, а также подбором рациональной стратегии ремонта.

Для определения рациональных параметров системы ТОиР потребовалась разработка обоснованной модели изменения стоимости ремонтного обслуживания, учитывающей зависимость количества отказов от времени производительной работы автосамосвалов (рис. 7).

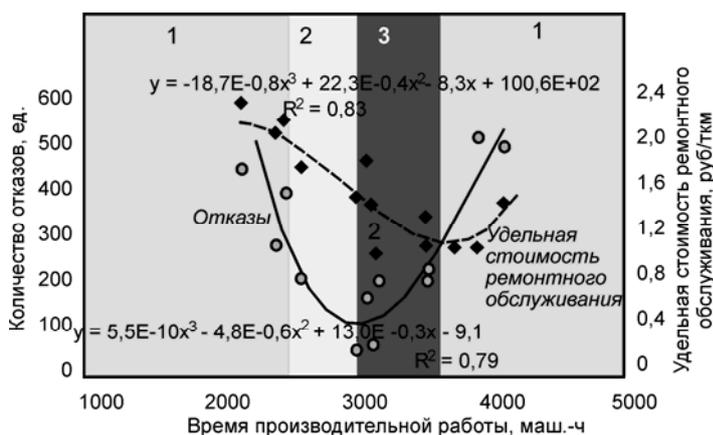


Рис. 7. Зависимость удельной стоимости ремонтного обслуживания и количества отказов от времени производительной работы автосамосвалов: эксплуатация карьерных автосамосвалов: 1 — нецелесообразна (<2000 маш.-ч; >3600 маш.-ч); 2 — с низкой производительностью (2500–3600 маш.-ч); 3 — с рациональной производительностью (3000–3600 маш.-ч)

Выявлено, что необходимым условием обеспечения работоспособности карьерного автотранспорта является рациональное сочетание времени производительной работы и приемлемой стоимости ТОиР.

С использованием предложенного подхода в АО «Ковдорский ГОК» был проведен производственно-технический аудит ремонтной службы, в частности, для решения вопроса повышения эффективности взаимодействия АО «Ковдорский ГОК» и подрядной организации ООО «Цепелин Русланд» по вопросам технического обслуживания и ремонта горной техники [10]. Предварительные результаты применения комплекса предложенных показателей позволили установить следующее: за год коэффициент технической готовности машин увеличился на 20 %, среднее время простоев в ремонте снизилось в 2,9 раза, коэффициент плановости ремонта увеличился на 70 %.

Таким образом, предложенный подход к оценке эффективности системы ТОиР позволяет выбирать рациональные параметры этой системы в части обеспечения своевременности выполнения объемов ремонтных работ и технического обслуживания, оценки технического состояния машин и расчета стоимости машино-часа готовности машин, тем самым обеспечивает требуемый уровень надежности карьерных автосамосвалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Титов, И. В. Грузовой автомобильный транспорт в России: состояние и перспективы развития [Текст] / И. В. Титов, И. И. Батишев // Транспорт Российской Федерации. — 2011. — № 5 (36). — С. 44–48.
2. Васильев, М. В. Эксплуатация карьерного автотранспорта [Текст] / М. В. Васильев, В. П. Смирнов, А. А. Кулешов. — М.: Недра, 1979. — 280 с.
3. Андреева, Л. И. Методология формирования технического сервиса горнотранспортного оборудования на угледобывающем предприятии [Текст] / Л. И. Андреева: дис. ... д-р техн. наук. — Екатеринбург, 2004. — 297 с.
4. Довженок, А. С. Развитие теории и методов управления автотранспортной системой горнодобывающего предприятия [Текст] / А. С. Довженок: дис. ... д-р техн. наук. — СПб., 2002. — 233 с.
5. Красникова, Т. И. Обоснование и выбор рациональных параметров эксплуатации экскаваторов циклического действия [Текст] / Т. И. Красникова: дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2012. — 128 с.
6. Андреева, Л. И. Исследование эксплуатационной надежности карьерных автосамосвалов [Текст] / Л. И. Андреева, Ю. Ю. Ушаков // Известия УГГУ. — 2016. — № 3 (43). — С. 74–77.
7. Кулецкий, В. Н. Подход к управлению технической готовностью карьерного автотранспорта [Текст] / В. Н. Кулецкий, А. Б. Рыбинский, А. В. Горохов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельная статья (специальный выпуск). — М.: Горная книга, 2015. — № 5. — 24 с.
8. Шибанов, Д. А. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ-18Р/20К, для планирования технического обслуживания и ремонта [Текст] / Д. А. Шибанов: дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2015. — 201 с.
9. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения [Текст]. — Минск, 1997. — 14 с.
10. Андреева, Л. И. К вопросу о повышении эффективности ремонтной службы горнодобывающего предприятия [Текст] / Л. И. Андреева, В. Ю. Мартынов, Ю. Ю. Ушаков // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XIV Междунар. научно-технич. конф. “Чтения памяти В.Р. Кубачека”. — Екатеринбург: УГГУ, 2016. — С. 427–434.

Экология и ресурсосбережение

УДК 621.365.413

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С УЧЕТОМ ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА

А. О. ГАНУЛ¹, В. И. ДОЖДИКОВ¹, д-р техн. наук, проф.; Д. С. МОРДОВКИН², канд. техн. наук
(¹ ФГБОУ ВО “Липецкий государственный технический университет”,
² ПАО “Новолипецкий металлургический комбинат”)

Нагрев металла перед прокаткой является сложным технологическим процессом, в котором задействован целый комплекс технологического и энергетического оборудования. На рис. 1 показана схема основных потоков энергетических ресурсов в этом процессе. Для решения задач повышения эффективности нагрева металла требуется разработка математических моделей, в полной мере учитывающих самые разнообразные взаимосвязи между процессами, происходящими в рабочем пространстве агрегатов, а также определяющих влияние того или иного фактора на протекание тепловых процессов.

В рассматриваемой модели нагрева металла в методической печи с шагающими балками описание процесса нагрева осуществляется в ре-

зультате совместного решения внешней задачи одномерной схемы теплообмена и двумерной внутренней задачи теплопроводности. В этой модели средняя плотность теплового потока эффективного излучения зоны $\bar{E}_{\text{эф}}$ в граничном условии на поверхности металла представляется как функция температуры зоны. При этом зона рассматривается как единый излучатель с приведенной к температуре зоны степени черноты эффективного излучения $\epsilon_{\text{эф}}^{*1}$.

^{*1} Дождиков, В. И. Анализ особенностей оптимальных режимов нагрева заготовок перед прокаткой [Текст] / В. И. Дождиков, И. Н. Чмырёв, Д. С. Мордовкин // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. — 2008. — № 10. — С. 55–61.

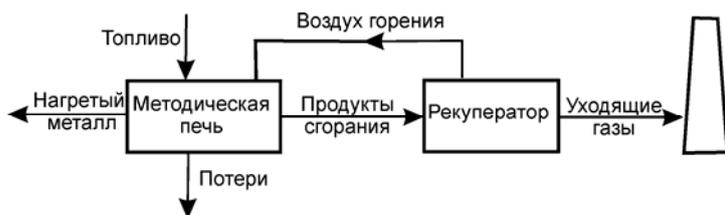


Рис. 1. Схема теплоэнергетической системы методическая печь – рекуператор

Полное математическое описание нагрева металла включает двумерное дифференциальное уравнение теплопроводности для пластины с учетом зависимости теплофизических свойств от температуры:

$$\rho c(t) \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} \right),$$

$$0 \leq \tau \leq T, \quad 0 \leq y \leq S, \quad 0 \leq x \leq l, \quad (1)$$

где τ — текущее время, с; T — время окончания процесса нагрева, с; x и y — текущие координаты, м; S — толщина заготовки, м; l — половина расстояния между глиссажными трубами, м; λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ — плотность, кг/м³.

Зональный и общий расходы топлива и температуру уходящих продуктов сгорания определяли на основе расчета теплового баланса печи:

$$Q_{\text{хт}} + Q_{\text{фв}} + Q_{\text{эк}} + Q_{\text{вн}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{кл}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{ок}} + Q_{\text{ух}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{хт}}$ — химическая теплота топлива, кДж; $Q_{\text{фв}}$ — физическое тепло, вносимое подогретым воздухом горения, кДж; $Q_{\text{эк}}$ — теплота, выделяемая в результате экзотермических реакций, кДж; $Q_{\text{вн}}$ — теплота, вносимая продуктами сгорания предыдущих зон, кДж; $Q_{\text{м}}$ — полезное тепло на нагрев металла, кДж; $Q_{\text{кл}}$ — потери тепла теплопроводностью через кладку, кДж; $Q_{\text{в}}$ — потери тепла в систему охлаждения подовых труб, кДж; $Q_{\text{ок}}$ — потери тепла на нагрев окалины, кДж; $Q_{\text{ух}}$ — потери тепла с уходящими продуктами сгорания, кДж.

Для приближения процесса моделирования нагрева металла в печи к реальным условиям работы оборудования описанная модель была дополнена модулем расчета рекуператора, применение которого позволяет определить параметры воздуха, идущего в печь на горение, при заданной

поверхности нагрева и начальной температуре продуктов сгорания.

Тепловой расчет рекуператора основывается на совместном решении уравнения теплоотдачи

$$Q = kF\Delta t_{\text{ср}} \quad (3)$$

и уравнения теплового баланса

$$Q = \eta V_{\text{пс}} c_{\text{пс}} (t'_{\text{пс}} - t''_{\text{пс}}) = V_{\text{в}} c_{\text{в}} (t''_{\text{в}} - t'_{\text{в}}), \quad (4)$$

где k — коэффициент теплопередачи от продуктов сгорания к воздуху, Вт/(м²·К); F — площадь поверхности нагрева, м²; $\Delta t_{\text{ср}}$ — средний температурный напор, °С; η — коэффициент полезного действия рекуператора; $V_{\text{пс}}$, $V_{\text{в}}$ — объемный расход продуктов сгорания и воздуха, м³/с; $t'_{\text{пс}}$, $t''_{\text{пс}}$ — температура продуктов сгорания на входе и выходе из рекуператора, °С; $t'_{\text{в}}$, $t''_{\text{в}}$ — начальная и конечная температуры воздуха, °С; $c_{\text{пс}}$, $c_{\text{в}}$ — теплоемкости продуктов сгорания и воздуха при средней температуре в рекуператоре, кДж/(кг·К).

Блок-схема алгоритма программы расчета нагрева металла и технико-экономических показателей работы печи с учетом подогрева воздуха в рекуператоре приведена на рис. 2.

Входными данными для модуля расчета рекуператора являются геометрические размеры рекуператора, расход топлива на печь, температуры воздуха и продуктов сгорания на входе в рекуператор, удельные расходы воздуха и продуктов сгорания, которые определялись путем расчета горения топлива с наиболее характерной для нормальной работы печи теплотой сгорания 21,5 МДж/м³ и заданным составом*².

Адекватность математической модели совместной работы методической печи с шагающими балками и рекуператора была проверена путем сравнения фактических измеренных и расчетных параметров работы агрегатов. Пример исследованного диапазона изменения температуры подогрева воздуха в рекуператоре приведен на рис. 3.

*² Ганул, А. О. Анализ потенциала использования отходящих газов нагревательных печей [Текст] / А. О. Ганул, Д. С. Мордовкин, В. И. Дождиков // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация". — 2017. — № 1. — С. 92–94.

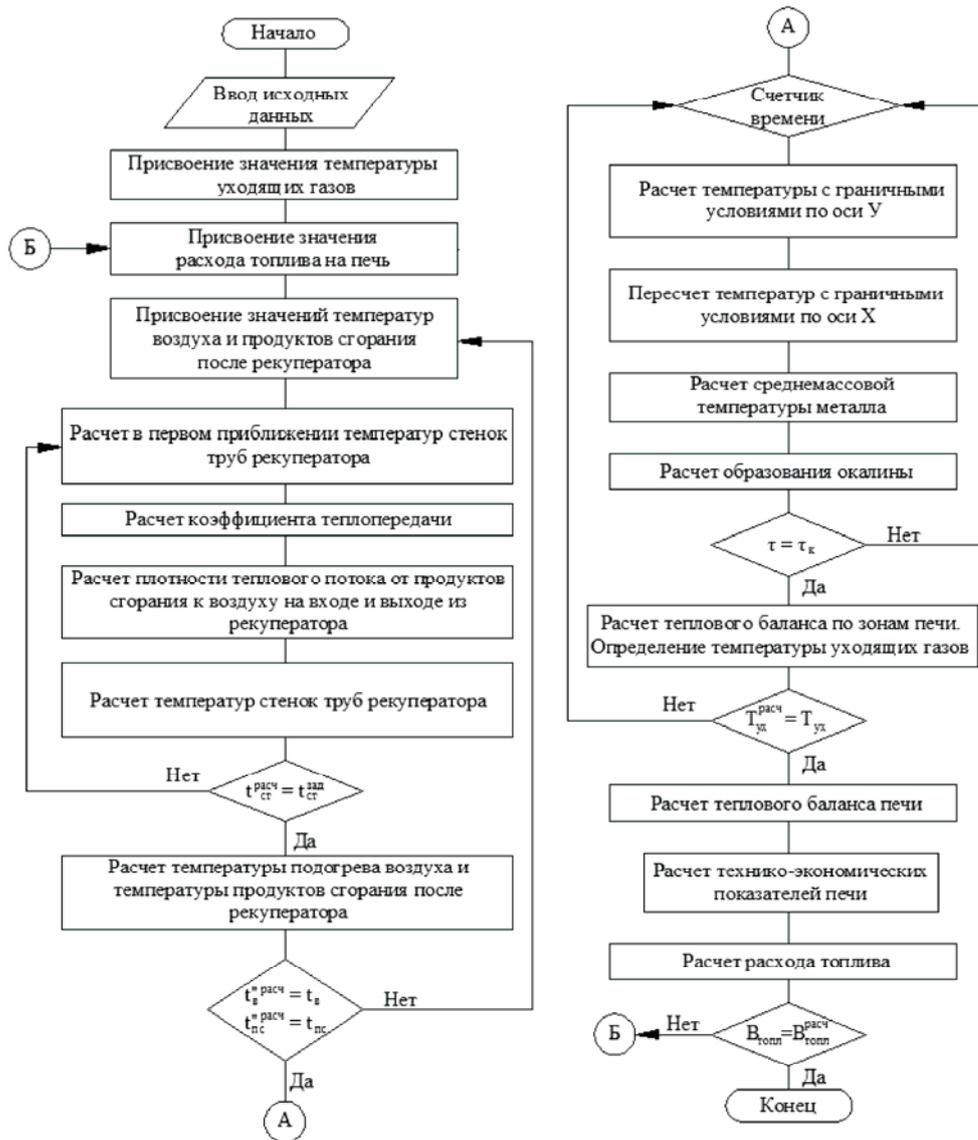


Рис. 2. Блок-схема алгоритма программы расчета нагрева металла и технико-экономических показателей работы печи с учетом подогрева воздуха в рекуператоре

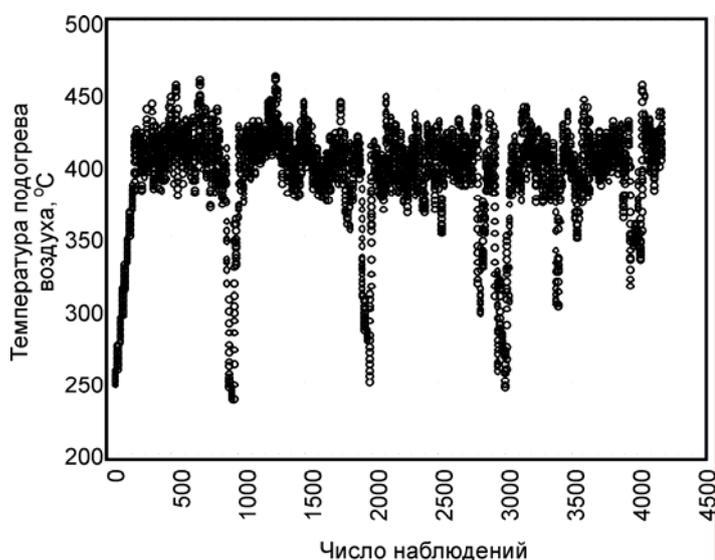


Рис. 3. Диапазон изменения температуры подогрева воздуха

Анализ результатов экспериментальных исследований позволил получить зависимость температуры подогрева воздуха в рекуператоре от расхода топлива на печь и температуры продуктов сгорания на входе в рекуператор в виде:

$$t''_в = 38,62 + 0,507 t'_{пс} + 1,55 \times 10^{-3} B, \quad (5)$$

где $t''_в$ — температура подогрева воздуха, °C; $t'_{пс}$ — температура продуктов сгорания на входе в рекуператор, °C; B — расход топлива, м³/ч.

При расчете нагрева воздуха в рекуператоре с помощью модели варьируемыми параметрами являлись температура продуктов сгорания на входе в рекуператор, которая изменялась в диапазоне 700–900 °C, и расход топлива на печь, характерный для 55 % времени работы печи, а именно 3–7 м³/с (10800–25200 м³/ч)^{*2}. На рис. 4

представлена зависимость температуры подогрева воздуха от расхода топлива и температуры дымовых газов на входе в рекуператор, построенная на основании расчетных данных.

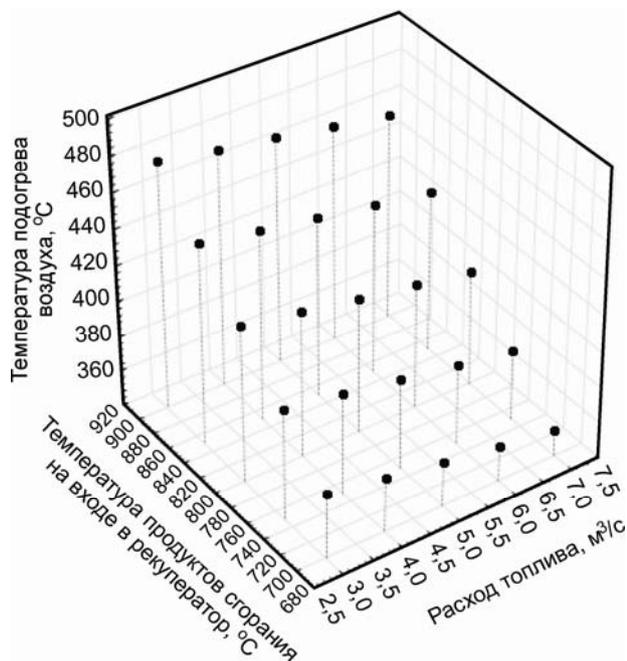


Рис. 4. Зависимость температуры подогрева воздуха от расхода топлива и температуры дымовых газов на входе в рекуператор

Сравнение расчетных и фактических значений температуры подогрева воздуха на горение приведено на рис. 5, отклонение расчетных значений от фактических составляет не более 5 % на границах рассматриваемого диапазона расходов топлива.

Аналогичный анализ фактических и расчетных данных по температуре продуктов сгорания на выходе из рекуператора показывает, что от-

клонение в этих значениях составляет не более 4 %.

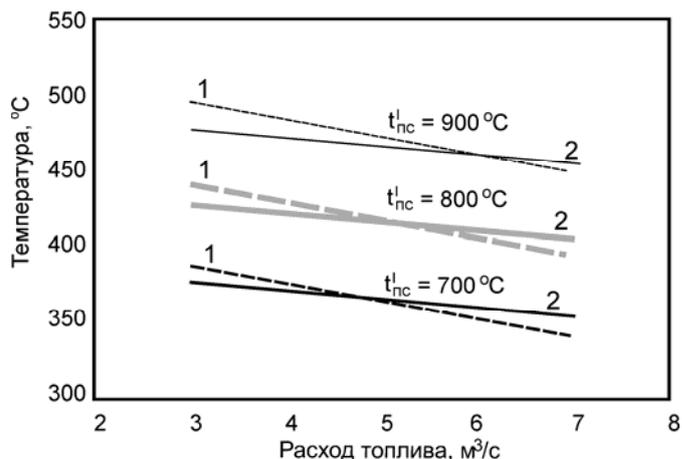


Рис. 5. Температура подогрева воздуха в зависимости от расхода топлива на печь:

1 — расчетные значения; 2 — фактические значения

В связи с тем, что при построении модели рекуператора были приняты некоторые допущения, а именно заданы величины коэффициента загрязнения, КПД рекуператора, постоянный состав топлива для печи, полученное отклонение можно считать допустимым при использовании математической модели.

Модель нагрева металла с учетом подогрева воздуха может быть использована для решения задач повышения эффективности работы комплекса оборудования печь – рекуператор, а также для определения потенциала использования тепла отходящих газов нагревательных печей.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЗА РУБЕЖОМ

МИНИ-ЗАВОДЫ И ЗАВОДЫ С НЕПОЛНЫМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ЦИКЛОМ

Вьетнам

Вьетнамская компания Hoa Phat Group подписала контракт с фирмой Danieli на поставку трех МНЛЗ и двух прокатных станов для металлургического комплекса Quang Ngai Steel Complex Phase 1 Project, который строится в экономической зоне Dung Quat Economic Zone, провинция Куангнгай (Quang Ngai).

Шестиручьевые МНЛЗ будут производить заготовку размерами от 130 до 165 мм. Все три машины будут оснащены кристаллизаторами Fast Cast Cube® и системами Hy-Power® качения кристаллизаторов.

Первый прокатный стан будет производить деформированный прутки диаметром от 10 до 25 мм со скоростью 28 м/с, а также катанку диаметром от 5,5 до 16 мм со скоростью 105 м/с на группе клетей HTC-High-speed Twin Channel system.

Второй стан будет производить деформированный прутки диаметром от 10 до 40 мм со скоростью 44 м/с, а также прутки малого диаметра на группе клетей HTC-High-speed Twin Channel system.

Оба прокатных стана будут работать в режиме горячего всада, при котором заготовка от МНЛЗ будет сразу подаваться на прокатный стан. Однородность температуры заготовки будет обеспечиваться индукционной системой Q-HEAT.

Планируется, что строительство комплекса будет завершено в течение 26 месяцев.

Иран

Компания Chadormalu Mining & Industrial Co. (CMIC) ввела в эксплуатацию завод по производству заготовки в г. Ардакан (Ardakan), провинция Йезд (Yazd). Оборудование завода поставлено консорциумом, включающим фирмы Тепова и SMS Concast. Завод имеет 170-т ДСП и установку ковш-печь, поставленные фирмой Тепова, и шестиручьевую МНЛЗ (поставка SMS Concast). Предусмотрена также возможность установки в будущем вакуумного дегазатора для производства сталей специальных марок. ДСП производительностью 1,2 млн т/год работает на смеси холодных металлургических окатышей и лома, однако может работать на горячих окатышах, которые могут подаваться непосредственно из камеры восстановления при температуре 600 °С, при этом увеличение производительности оценивается до 30 %. Строительство такой сис-

темы загрузки окатышей в горячем состоянии также запланировано в будущем.

Строительные конструкции и вспомогательное оборудование поставлено местными фирмами.

ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ. ПРОИЗВОДСТВО ОКАТЫШЕЙ

Индия

Компания KIOCL Ltd (панее — Kudremukh Iron Ore Company Ltd) сообщила, что фабрика окомкования в г. Мангалуру (Mangaluru), штат Карнатака, выведена на полную мощность. За последние шесть месяцев эксплуатации завод произвел 1,125 млн т окатышей. Работы по выводу фабрики окомкования на полную мощность продолжались пять лет.

Иран

Иранский железорудный комплекс Sangan Iron Ore Complex (провинция Разави-Хорасан) ввел в эксплуатацию фабрику окомкования мощностью 5 млн т/год. Оборудование фабрики поставлено фирмами Германии, Италии и Австрии.

В IV кв. 2017 г. в Иране введена в эксплуатацию еще одна фабрика окомкования мощностью 5 млн т/год окатышей, строительство которой ведет компания Opal Parsian Sangan Mineral and Industrial Company. Фабрика строится также в районе Санган (Sangan) провинции Разави-Хорасан, богатой минеральными ресурсами. В частности, запасы железной руды в районе оцениваются в 1,2 млрд т.

Кроме того, в этом же районе строится обогащательная фабрика мощностью 5 млн т/год, инвестором которой является компания National Industries and Mining Development Company. Фабрика планируется к пуску в начале 2018 г.

КОКСОХИМИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Китай

Китайская компания Baosteel Meishan строит 26 одинаковых бункеров для хранения угля, для которых фирма AUMUND Fördertechnik GmbH поставит четыре роторные разгрузочные машины. Бункеры представляют собой цилиндрические хранилища диам. 21 м и высотой 33 м, установленные в два ряда. Бункеры занимают такую же площадь, как и открытые штабели, однако вмещают значительно больший объем угля.

Кроме того, AUMUND Fördertechnik GmbH поставит еще две роторные машины для извлечения кокса из закрытых бункеров горизонтального типа. С целью снижения пылеобразования при работе с коксом машины снабжены форсунками, подающими водяную пыль в зону погрузки.

ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА

Вьетнам

Вьетнамская металлургическая компания Hoa Phat Steel подписала контракт с фирмой Danieli Corus на поставку оборудования для строительства четырех доменных печей на площадке комплекса Dung Quat iron & steel making complex. Объем поставки Danieli Corus включает системы вдувания пылеугольного топлива и системы автоматизации печей. Суммарная производительность всех четырех печей составит 4 млн т/год чугуна. Каждая печь объемом 1080 м³ и производительностью 1 млн т/год чугуна будет оснащена совершенной системой охлаждения, включающей использование холодильников из водоохлаждаемых медных плит. В футеровке печей будут использованы блоки из графита и карбида кремния.

Печи будут строиться и вводиться в эксплуатацию последовательно. Планируется, что последняя будет пущена в 2019 г.

Индия

Индийская компания Rashtriya Ispat Nigam Limited (RINL) ведет монтаж установок вдувания пылеугольного топлива на трех доменных печах. По заявлению компании, после ввода установок в эксплуатацию к 2018–2019 гг. расход коксующегося угля снизится до 150 кг/т чугуна. Компания рассчитывает произвести в 2018–2019 фин. году 6,5 млн т стали и в 2019–2020 фин. году — 7,5 млн т стали.

КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Индия

Индийская корпорация SAIL ввела в эксплуатацию третий кислородный конвертер на заводе Visakhapatnam Steel Plant (Vizag Steel), завершив, таким образом, реконструкцию кислородно-конвертерного цеха № 1.

Реконструкция цеха, которую выполнила фирма SMS group, позволила увеличить производительность цеха с 3 до 3,5 млн т/год, снизив при этом уровень выбросов в атмосферу за счет новой системы влажного удаления пыли. В ходе реконструкции SMS group поставила основное механическое оборудование на все три 150-т

конвертера, включая устройства донного электромагнитного перемешивания расплава. Кроме того, фирма поставила новое электрическое оборудование и систему автоматизации X-Pact®.

Индия

Компания JSW Steel Limited подписала контракт с фирмой SMS group на поставку оборудования для кислородно-конвертерного цеха производительностью 5 млн т/год на заводе Dolvi works, расположенном недалеко от г. Мумбаи (Mumbai). Объем поставки включает два 350-т кислородных конвертера, две 350-т установки ковш-печь и 350-т установку вакуумной дегазации RH-TOP. Кроме того, SMS group поставит систему X-Pact® автоматизации технологического процесса, а также две системы первичной очистки газа, оборудованные установками сухой очистки от пыли, и систему вторичной очистки отходящих газов на всех поставляемых агрегатах. Цех будет оборудован системами утилизации тепла отходящих газов и использования непосредственно газов для генерации электроэнергии.

Установка вакуумной дегазации RH-TOP компании SMS Mevac будет оборудована современной системой RH-RockerType® подъема ковша, а также многофункциональной фурмой TOP, которая может использоваться для продувки кислородом во время вакуумной обработки и в качестве кислородной горелки при нагреве расплава до необходимой температуры в атмосферных условиях.

Ввод кислородно-конвертерного цеха в эксплуатацию планируется на 2019 г.

ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

США

Компания Nucor Steel Seattle, Inc — подразделение Nucor Corp. — подписала акт приемки системы Water Detection System® (WDS) обнаружения протечек воды на ДСП. Система WDS, разработанная и поставленная фирмой Tepova, предупреждает оператора при превышении протечек воды выше нормальных. Система успешно прошла испытания и принята к эксплуатации.

ВНЕПЕЧНАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

Германия

Компания Salzgitter Flachstahl GmbH ввела в эксплуатацию новую систему вакуумной обработки жидкой стали типа RH производительностью 1,3 млн т/год. Система позволит компании производить очень чистую сталь с высокими по-

казателями формуемости, которая используется, в частности, для производства внешних панелей автомобилей.

Казахстан

Фирма SMS group поставит компании ArcelorMittal Temirtau новую установку ковш-печь вместимостью 290 т. Объем поставки включает проектирование установки, поставку механического и электрического оборудования, а также шеф-монтаж. Кроме того, SMS group поставит оборудование для цехов газо- и водоочистки. Ввод установки в эксплуатацию планируется на II кв. 2018 г.

В настоящее время мощности ArcelorMittal Temirtau составляют 4 млн т/год стали.

НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА

Слябовые МНЛЗ

Иран

Ведущий иранский производитель толстого листа компания Khouzestan Oxin Steel Company ведет переговоры с фирмой Danieli о строительстве МНЛЗ производительностью 1,2 млн т/год для производства слябов шириной 2,2 м. В настоящее время компания использует слябы шириной 1,5 м. Компания производит 650 тыс. т/год толстого листа шириной от 1100 до 4500 мм и толщиной от 8 до 150 мм из специальных сталей. Основными потребителями листа являются местные судостроительные компании и производители труб большого диаметра для нефтяной и газовой отраслей. Около 30 тыс. т/год листа компания экспортирует, в основном в Германию, Италию, Бельгию и Нидерланды.

Тайвань

Фирма Primetals Technologies получила заказ от тайваньской компании China Steel Corp. (CSC) на реконструкцию двухручьевого слябовой МНЛЗ на заводе Kaohsiung plant. МНЛЗ была построена в 1996 г.

Основной целью реконструкции станет модернизация кристаллизатора, расширение сортамента производимых слябов и повышение их качества, а также снижение числа прорывов. В рамках реконструкции на машине будут установлены система DynaWidth динамической регулировки ширины кристаллизатора в процессе разлива, система DynaFlex гидравлического качания кристаллизатора, а также система Mold Expert предотвращения прорывов при кристаллизации слябов. Часть механического оборудования будет изготовлена местной фирмой China Steel Machinery Corp. (CSMC), которая является подразделением CSC.

Сортовые МНЛЗ

Австрия

Компания Voestalpine подписала контракт с фирмой Primetals Technologies на поставку четырехручьевого сортовой МНЛЗ, которая будет установлена на заводе Leoben steel works, Австрия, компании Donawitz GmbH. МНЛЗ производительностью 950 тыс. т/год будет производить высококачественную круглую заготовку диам. 230 мм и заготовку прямоугольного сечения размером 270×360 мм, а также 440×330 мм из рельсовых, пружинных, подшипниковых сталей, а также сталей для холодной высадки, для производства бесшовных труб, сварочных электродов, корда. При необходимости в МНЛЗ может быть добавлен пятый ручей. МНЛЗ будет оснащена гидравлической системой DynaFlex качания кристаллизатора и системой LevCon контроля уровня расплава в кристаллизаторе. Кроме того, будет установлена система мягкого обжатия слитка и перемещающийся перемешиватель расплава в слитке.

Чехия

Чешская компания ArcelorMittal Ostrava разместила заказ на фирме SMS group на реконструкцию блюмовой МНЛЗ. Для отливки круглой заготовки диам. 350 и 400 мм. SMS group поставит два кристаллизатора HD moldFO, каждый из которых будет иметь 180 точек замера температуры, данные из которых будут передаваться в компьютер по оптоволоконным кабелям. Анализ данных замера температуры слитка по его высоте позволит визуализировать в режиме он-лайн локальные напряжения в корочке слитка и толщину жидкой и твердой фаз шлакообразующих смесей, что, в свою очередь, позволит повысить надежность процесса разлива, а также улучшить производительность МНЛЗ и качество слитка.

Кроме того, SMS group поставит ролики CONCOR для 1-го сегмента и систему Dynamic COOL динамического охлаждения слитка.

Ввод в эксплуатацию МНЛЗ после реконструкции планируется на 2018 г.

Южная Корея

Южнокорейская компания Hyundai Steel Company на своем заводе в г. Пхохан (Pohang) ввела в эксплуатацию МНЛЗ после реконструкции, которую осуществила фирма SMS Concast. Шестиручьева МНЛЗ имеет производительность около 1 млн т/год и производит блюмы различных размеров и заготовки для балок. Работы по реконструкции МНЛЗ включали установку нового кристаллизатора для отливки заготовки размером 250×350 мм, установку новых механизмов качания кристаллизаторов, систем пере-

мешивания расплава в кристаллизаторах и систем подачи шлакообразующих смесей. Кроме того, была заменена часть электрического оборудования и модернизирована система автоматизации.

ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Производство листового проката

Бангладеш

Компания RHP, Бангладеш, подписала контракт с фирмой CMI на поставку линии травления, стана холодной прокатки и линии горячего цинкования для строящегося в районе Фени (Feni), Бангладеш, металлургического комплекса RHP Integrated Steel Mills.

Линия травления производительностью 500 тыс. т/год позволит подвергать травлению полосу шириной до 1670 мм и толщиной от 1,6 до 4 мм, будет оборудована двойной моталкой типа Unicoiler, секцией предварительной очистки полосы и триммером для обрезки кромок.

Одноклетевой шестивалковый стан холодной прокатки производительностью 200 тыс. т/год будет производить полосу шириной до 1370 мм. Стан оборудован устройством автоматической загрузки рулонов, рентгеновским толщиномером и системой автоматического контроля планшетиности полосы, системой масляно-воздушной смазки подшипников клетки и системой автоматизации.

Линия горячего цинкования производительностью 200 тыс. т/год позволит наносить на полосу покрытия из цинка и Zn-Al. Линия будет оборудована секцией эффективной очистки полосы, горизонтальной печью отжига и воздушным ножом, включающим патентованную систему APC Blowstab охлаждения полосы. Линия имеет в своем составе дрессировочный стан, секцию правки растяжением и узел нанесения покрытия "антипальчики".

Компания планирует ввод комплекса в эксплуатацию в середине 2019 г.

Германия

Германская компания BILSTEIN Cold Rolling Mill — подразделение BILSTEIN Group — подписала контракт с фирмой SMS group на поставку комплекта оборудования реверсивного стана холодной прокатки. Четырехвалковый стан производительностью 290 тыс. т/год будет обеспечивать прокатку и дрессировку полосы шириной от 600 до 1350 мм и минимальной толщиной на выходе 0,20 мм. Стан будет оборудован системой SVC® plus продольной сдвижки валков, системой X-Pact® контроля электрооборудования и автоматизации, системой Sieflex® HT контроля

привода шпинделя, а также системой X-Shape контроля планшетиности полосы. Планируется, что стан будет пущен в сентябре 2019 г.

Индия

Индийская компания Mishra Dhatu Nigam Limited (MIDHANI), расположенная в г. Хайдерабад (Hyderabad), подписала два контракта с фирмой Danieli на поставку оборудования комплекса по производству толстого листа, который будет включать широкополосный прокатный стан, оборудование для термообработки листа и оборудование для отделки проката. Одноклетевой толстолистовой прокатный стан должен производить высококачественный лист толщиной от 5 до 50 мм и шириной до 3100 мм из титановых сплавов, нержавеющей суперсплавов, низколегированных высокопрочных сталей и т. п. Оборудование термообработки листа будет включать правильный агрегат, нагревательную печь с роликовым подом и машину закалки листа в калибрах валков.

Пуск основного оборудования комплекса и производство первой партии листа планируется во второй половине 2019 г.

Мексика

Компания Ternium SA объявила о планах строительства двух новых объектов: стана горячей прокатки полосы в Мексике и сортового стана в Колумбии. Стан горячей прокатки производительностью 3,7 млн т/год будет построен в индустриальном парке Pesquería, штат Нуэво-Леон (Nuevo León). Стан будет получать слябы из Бразилии. Стоимость строительства стана, который планируется к вводу в эксплуатацию во второй половине 2020 г., оценивается в 1,1 млрд долл.

В настоящее время заводы ArcelorMittal Mexico производят 4 млн т стали. С вводом в эксплуатацию нового стана производство металлопродукции заводами ArcelorMittal Mexico будет оптимизировано и планируется на уровне 5,3 млн т/год, в том числе 2,5 млн т/год плоского проката, 1,8 млн т/год сортового и примерно 1 млн т/год товарных слябов.

Сортовой стан производительностью 520 тыс. т/год, который планируется построить в Колумбии к концу 2019 г., будет производить арматуру, в том числе в бунтах.

Пакистан

Пакистанский производитель холоднокатаной полосы компания Aisha Steel Mills Limited (ASML), расположенный в г. Карачи, подписал контракт с фирмой SMS group на поставку компактного двухклетевого реверсивного стана холодной прокатки CCM® (Compact Cold Mill — компактный стан холодной прокатки). Стан производитель-

ностью 500 тыс. т/год станет уже третьим станом CCM®, заказанным компанией у фирмы SMS.

Четырехвалковые клетки стана будут оборудованы системой CVC® plus продольной сдвижки валков, системой противоизгиба рабочих валков, роликовой системой X-Shape измерения планшетности на входе и на выходе стана, а также системой быстрой смены валков. Объем поставки SMS group включает также систему автоматизации, оборудование очистки эмульсии, гидравлическое оборудование, а также систему удаления дыма. Стан будет производить полосу шириной от 650 до 1250 мм и минимальной толщиной до 0,15 мм. Планируется, что стан будет введен в эксплуатацию в 2019 г.

Турция

Турецкая металлургическая компания Tosyali-Toyo Celik A.Ş ввела в эксплуатацию комплекс по производству холоднокатаной полосы в г. Османие (Osmaniye). Основное технологическое оборудование поставлено фирмой Primetals Technologies, которая получила этот заказ в 2014 г. Комплекс включает совмещенный агрегат “травильная линия – непрерывный стан холодной прокатки” (конфигурация PL-TCM), совмещенный агрегат “линия лужения – линия отжига” (конфигурация Tin-CAL), а также агрегат “двойная дрессировка” (Temper/DCR) и другое оборудование. Комплекс производит луженый холоднокатаный лист, оцинкованный лист и лист с полимерными покрытиями.

Франция

Фирма SMS group получила заказ от компании ArcelorMittal Atlantique et Lorraine на реконструкцию стана горячей прокатки полосы в г. Дюнкерк (Dunkirk). План реконструкции стана включает установку системы CVC®plus противоизгиба и продольной сдвижки рабочих валков, замены шпинделей приводов на всех чистовых клетях, а также установку системы PCFC® контроля контура и планшетности полосы.

Ранее фирма SMS group успешно реконструировала другой стан горячей прокатки компании ArcelorMittal в г. Гент (Ghent), Бельгия.

Производство сортового проката

Вьетнам

Японская металлургическая компания Kyouei Steel намерена вернуться к своему плану 2012 г. и построить в северной части Вьетнама завод по производству арматуры мощностью 500 тыс. т/год.

Компания планирует начать строительство в конце 2017 г., ввести в эксплуатацию прокатный стан в 2019 г. и завершить строительство электросталеплавильного цеха в 2020 г. Стоимость

строительства завода оценивается в 200 млн долл.

В настоящее время Kyouei Steel имеет во Вьетнаме сортопрокатный цех, работающий на покупной заготовке.

Германия

Германская компания Lech-Stahlwerke — подразделение группы Max Aicher — разместила заказ на фирме Danieli Centro Cranes на поставку восьми мостовых кранов FEM class A7/M7 грузоподъемностью 15 т для своего завода в г. Майтинген (Meitingen), Бавария. Из них два крана заменят устаревшие, остальные шесть будут обслуживать новый прокатный стан. Стан производительностью 1,1 млн т/год производит арматуру и высококачественный конструкционный профиль.

Компания Hennigsdorfer Elektrostahlwerke GmbH (Riva Group) подписала контракт с фирмой Danieli на реконструкцию универсального стана. На первом этапе на стане будет установлена новая промежуточная группа клеток конфигурации H и H/V для производства круглого проката для арматуры диаметром от 9,5 до 40 мм и качественного прутка диаметром от 14 до 80 мм. На втором этапе будут заменены клетки чистовой группы и установлен компактный блок калибровки, который позволит сузить допуски при прокатке и производить прокат овального сечения. Новое оборудование позволит в дальнейшем расширить сортамент производимого проката, включая производство полос размерами от 50×60 до 140×60 мм. Начало реконструкции стана запланировано на I кв. 2018 г.

Китай

Китайская компания Xinji Aosen Iron & Steel Co. Ltd подписала контракт с фирмой SMS group на реконструкцию двух мелкосортных станов производительностью 700 тыс. т/год каждый. Станы будут оборудованы блоками клеток в конфигурации, которая позволит производить катанку с термомеханической обработкой и в узких пределах допусков. Кроме того, станы будут оборудованы виткообразователями последней конструкции. Станы будут производить катанку диаметром от 5,5 до 16 мм и арматуру диаметром от 6 до 16 мм. Планируется, что станы будут введены в эксплуатацию после реконструкции летом 2018 г.

Фирма SMS group осуществит реконструкцию мелкосортного стана китайской компании Hejin Hongda Special Steel Co. Ltd. На стане производительностью 700 тыс. т/год будет установлен блок из 10 чистовых клеток конструкции SMS group, а также виткообразователь. После рекон-

струкции стан будет производить катанку диаметром от 5,5 до 20 мм и арматуру диаметром от 6 до 14 мм.

Пуск стана после реконструкции планируется летом 2018 г.

США

Компания Alton Steel Inc. (штат Иллинойс) планирует модернизировать свой прокатный стан 355. На стане производительностью 400 тыс. т/год будет установлен узел смотки в бунты, что позволит компании расширить сортамент производимой продукции. Стан производит горячекатаный пруток специального качества категории SBQ диаметром от 19 до 46 мм.

Американская компания Steel Dynamics Inc. разместила заказ на фирме Danieli на поставку агрегата сварки заготовки и линии смотки арматуры в бунты для своего мелкосортного стана на заводе в г. Колумбия Сити (Columbia City), штат Индиана. Новое оборудование позволит производить арматуру и гладкий пруток в бунтах массой до 5,5 т в объеме до 240 тыс. т/год. Пуск новой линии планируется на конец 2018 г.

Турция

Турецкая металлургическая компания Çelik Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Çemtaş) разместила заказ на фирме Primetals Technologies на реконструкцию универсального стана, который эксплуатируется на заводе в г. Бурса (Bursa). После реконструкции стан сможет принимать более длинную заготовку, новая система автоматической обвязки пакетов позволит повысить его эффективность.

Стан производительностью 200 тыс. т/год производит круглый прокат диаметром от 15 до 100 мм и плоский прокат шириной от 46 до 140 мм и толщиной от 5,5 мм до 62 мм из пружинных, шарикоподшипниковых, быстрорежущих сталей, низко- и высокоуглеродистых, а также низкоуглеродистых высокопрочных сталей для автомобильной промышленности, машиностроения и строительства.

В дальнейшем Primetals Technologies поставит реверсивную черновую клеть и промежуточную группу, а также модернизирует чистовую группу клетей.

Чехия

Чешская компания Vítkovice Steel завершила реконструкцию своего толстолистового стана производительностью 3,5 млн т/год, на котором производятся шпунтовые сваи. Основной целью реконструкции было увеличение производства шпунтовых свай до объема 20 тыс. т/мес.

Реконструкцию стана, которая обошлась компании в 14,4 млн долл., выполнили специализированные германские фирмы.

Шпунтовые сваи, которые широко применяются при строительстве фундаментов зданий и укрепления берегов рек и каналов, в Европе производят всего две компании, включая Vítkovice Steel.

ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ

Мексика

Германская фирма Schuler получила заказ от латиноамериканской компании Tuberías Procarsa на поставку линии производства спиральношовных труб на заводе в штате Коауила (Coahuila), Мексика. Линия производительностью 220 тыс. т/год будет производить трубы диаметром от 508 до 2235 мм, длиной от 12 до 24,4 м и толщиной стенки до 25,4 мм из сталей категории до X100. Предполагается, что трубы будут использоваться в нефтегазовой промышленности и строительстве.

Линия будет оборудована средствами контроля качества в соответствии со стандартами API, включая ультразвуковое и рентгеновское оборудование, а также оборудование для испытания труб водой под давлением.

МЕТАЛЛ С ПОКРЫТИЯМИ

Вьетнам

Вьетнамская компания Nam Kim Steel Joint Stock Company утвердила технико-экономическое обоснование строительства завода мощностью 900 тыс. т/год по производству листового проката с покрытиями в провинции Бариа-Вунгтау (Ba Ria-Vung Tau). Стоимость строительства завода оценивается в 97 млн долл. Предполагается, что завод будет производить оцинкованный стальной лист, оцинкованный алюминиевый лист, стальные трубы, стальную ленту, в том числе оцинкованную.

Фирма Tenova и компания Southern Steel Sheet Co. Ltd (SSSC) подписали контракт, предусматривающий реконструкцию линии нанесения полимерных покрытий, которая находилась в эксплуатации с 2014 г. Целью реконструкции является повышение производительности линии до 100 тыс. т/год и улучшение качества продукции. В частности, в линию будут добавлены две печи отжига и установлены четыре роликовых узла нанесения краски, один из которых — горизонтальный.

Германия

Германская компания Salzgitter Flachstahl GmbH (SZFG) намерена построить третью линию горячего цинкования полосы на своем заводе в г. Зальцгиттер (Salzgitter). Планируется, что линия производительностью 500 тыс. т/год будет специализироваться на нанесении цинковых покрытий на полосу из высоко- и сверхвысокопрочных сталей для автомобильной промышленности. Новая линия должна быть введена в эксплуатацию во второй половине 2020 г.

Мексика

Мексиканская металлургическая компания Tuasa подписала контракт с фирмой Primetals Technologies на поставку оборудования для комбинированной линии горячего цинкования и нанесения полимерных покрытий (CG-CCL), которая строится на ее заводе в г. Орисаба (Orizaba). Объем поставки Primetals Technologies включает проектирование установки, поставку технологического оборудования и шеф-монтаж. Primetals Technologies поставит оборудование для входной секции, включая сдвоенную моталку, сварочный агрегат, горизонтальный накопитель емкостью 260 т, горизонтальную нагревательную печь, секцию охлаждения, устанавливаемую после узла цинкования, ванну цинкования и ванну предварительного расплава цинка, газовый нож Dupawire, четырехвалковый дрессировочный стан, шестивалковый уравниватель натяжения полосы с участком химической пассивации поверхности полосы, а также горизонтальный роликовый узел нанесения краски, узел сушки и водоохлаждаемые ролики. Кроме того, Primetals Technologies поставит комплектное оборудование для секции нанесения полимерных покрытий, включая узел нанесения покрытия, печи сушки полосы, оборудование участка закалки покрытия водой для грунта и краски и вертикальный накопитель.

Планируется, что первый рулон оцинкованной полосы будет произведен в конце 2018 г., а первый рулон полосы с полимерными покрытиями — в марте 2019 г.

Нидерланды

Фирма Danieli получила заказ от компании Tata Steel на реконструкцию линии горячего цинкования на заводе в г. Эймейден (Ijmuiden), Нидерланды, которую она поставила в 2000 г. В рамках реконструкции на линии будут установлены новая секция печи с радиантными трубами, новая система автоматизации и полностью за-

менено электрическое оборудование, а также модернизированы узлы входной и выходной секций. В частности, будет полностью изменена секция интенсивного охлаждения полосы газом (Gas Jet Cooling section), что позволит повысить скорость охлаждения полосы и достичь однородности температуры полосы на выходе.

В результате реконструкции производительность линии увеличится до 460 тыс. т/год. Кроме того, расширится сортамент производимой на линии продукции.

Финляндия

Компания SSAB подписала контракт с фирмой SMS group на реконструкцию линии цинкования № 3 на заводе в г. Хяменлинна (Hämeenlinna). На линии будет установлен индукционный нагреватель полосы и новый газовый нож Jet-Pro, оснащенный системой EMG eMASS® стабилизации полосы. Кроме того, будет установлена дополнительная ванна для расплава, что позволит производить полосу с покрытиями из цинка и цинка с алюминием. Целью реконструкции линии является повышение ее производительности и качества производимой оцинкованной высокопрочной полосы для автомобильной промышленности. Линия производит оцинкованную полосу толщиной от 0,4 до 3,0 мм и шириной от 650 до 1550 мм. Реконструкцию будут осуществлять фирмы DREVER International, DUMA-BANDZINK и EMG Automation, входящие в SMS group.

МАТЕРИАЛО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. ЭКОЛОГИЯ

Китай

Крупнейшие китайские металлургические заводы с наступлением зимы начинают закрываться в рамках программы зимних ограничений. В частности, в г. Таньшань (провинция Хэбэй) в соответствии с решением руководства провинции, принятом в августе 2017 г., в течение зимнего периода производство стали будет снижено наполовину и на треть будет снижено потребление коксующегося угля. Общая мощность предприятий, которых коснутся зимние ограничения, только в Таньшане составит 20 млн т/год стали, что составляет 7,5 % годового производства стали в Китае.

Подобные решения были приняты и в других городах, где сосредоточены металлургические

предприятия: Шицзячжуан (Shijiazhuang), Аньян (Anyang), Ханьдань (Handan).

Всего в провинции Хэбэй, которая занимает первое место в Китае по производству стали, за первые семь месяцев 2017 г. был выведен из эксплуатации ряд устаревших металлургических предприятий, превышающих экологические нормы по выбросам вредных веществ в атмосферу. В частности, было закрыто несколько предприятий по производству чугуна общей мощностью 12,26 млн т/год и ряд заводов по производству стали общей мощностью 10,53 млн т/год. Всего

в течение 2017 г. в провинции планировалось закрыть устаревшие металлургические предприятия общей мощностью 31,86 млн т/год, что составит более 60 % плана закрытия предприятий по всей территории Китая.

В целом по стране было выведено из эксплуатации 727 устаревших металлургических предприятий, которые производили из металлолома сталь очень низкого качества.

А.М. Овчинников

Подборка экспресс-информации в этом номере сделана по материалам, опубликованным в периодических зарубежных информационных источниках за период ноябрь–декабрь 2017 г.

НОВОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ ПЕРИОДИКИ

1. Полностью автоматическое производство стали в конвертере. Fully automatic converter steelmaking / G. Wimmer, R. Stadlmayr, F. Hartl et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 924–932 (англ.).
2. Улучшение конвертерного процесса благодаря современным методам и технологии очистки вдуваемого газа. BOF process improvements by modern gas purging strategy and technology / M. Haider, M. Kirschen, R. Ehrengruber et al. // 3rd ESTAD Proceedings 2017. С. 933–942 (англ.).
3. Бесшлаковая технология: новая работа конвертера компании Gerdauro Branco. Slagless technology - New BOF performances at GERDAURO BRANCO / B. Maia, E. Almeida, W. Assuncao et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 943–957 (англ.).
4. Оптимизация конструкции конвертера при ВГД-методе: практическое применение для модернизации конвертера. Optimization of converter design with CFD – Practical application for converter revamp / E. Wimmer, R. Schwaha, G. Wimmer // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 967–977 (англ.).
5. Инновационные решения для систем обеспыливания конвертера: достижение минимальных уровней выбросов. Innovative solutions for BOF dedusting systems – Achieving minimum emission levels / H. Pasterner, T. Steinparzer, R. Fillafer et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1012–1021 (англ.).
6. Холодная модель конвертера: определение движения ванны при сверхзвуковой продувке. BOF cold model - Metal slag bath mass movement determination by supersonic blow from multi Nozzles / B. Maia, C. Diniz, G. Pereira et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1022–1037 (англ.).
7. Динамический контроль конца дефосфорации в конвертере. Dynamic on-line monitoring and end point control of dephosphorisation in the BOF converter / M. Schlautmann, B. Kleimt, S. Khadhraoui et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1038–1049 (англ.).
8. Анализ геометрических аспектов конвертеров и связь с параметрами процесса. Analysis of geometrical aspects of BOF converters and correlations with process parameters / B. Maia, W. Lima, R. Rocha // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1063–1073 (англ.).
9. Динамическое моделирование состава отходящего газа конвертера в охлаждающей трубе. Dynamic modeling of the converter off gas composition in the cooling stack / Y. Lytvynuk, V. Dimitrijevic, G. Staudinger et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1074–1083 (англ.).
10. Современная газоочистка и утилизация газов конвертера: эксплуатационные результаты и преимущества. State of the art gas cleaning and utilization for BOF gases: operational results and benefits / C. Klein, M. Rzepczyk, M. Meyn et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1084–1091 (англ.).
11. Модернизация манипуляторов зондовых фурм конвертеров для безопасности процесса. Successful revamping of sublancemanipulators for the LD-converters at voestalpine Stahl GmbH – safe of process time and availability / M. Egger, J. Lehner, H. Nograthig et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1120–1128 (англ.).
12. Проблемы продувки в конвертере при вводе железорудных окатышей, развитие процесса. BOF blowing process challenges for high rate of iron ore pellet addition - Process development and results at TKCSA / D. Carvalho, H. Castro, L. Demuner et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1129–1137 (англ.).
13. Постоянное совершенствование конвертера компании ArcelorMittal (Joao Monlevade) при бесшлаковой технологии. Continuous improvements in BOF at Arcelor Mittal Joao Monlevade by technology slagless lance / B. Maia, W. Lima, C. Sato et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1138–1147 (англ.).
14. Первый опыт работы при дожигательных фурмах в конвертере. First operating experiences with post-combustion lances at BOF shop LD3 / J. Lehner, M. Egger, H. Panhofer et al. // 3rd ESTAD Proceedings. 2017. С. 1148–1157 (англ.).
15. Точный расчет вязкости расплавов системы $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$. Accurate Viscosity Calculation for Melts in $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ Systems / L. Gan, J. Xin, Y. Zhou // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1303–1312 (англ.).
16. Измерение вязкости шлаков ротационным и вибрационным вискозиметрами. Viscosity Measurement of Slags using Rotating Bob and Vibrating Finger Viscometer / D. Chebykin, H.-P. Heller, T. Dubberstein et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1319–1326 (англ.).
17. Явления смачивания, распространения и проникновения шлаков в огнеупоры на основе MgAl_2O_4 – шпинели. Wetting, Spreading and Penetration Phenomena of Slags on MgAl_2O_4 Spinel Refractories / T. Yoon, K. Lee, B. Lee et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1327–1333 (англ.).
18. Термодинамическое взаимодействие хрома и фосфора в высокохромистом железном расплаве. Thermodynamic Interaction between Chromium and Phosphorus in High Cr Containing Liquid Iron / K.-H. Do, H.-S. Nam, J.-M. Jang et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1334–1339 (англ.).

19. Точный расчет плотности жидких шлаков систем $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$. Accurate Density Calculation for Molten Slags in $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ Systems / J. Xin, L. Gan, L. Jiao / ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1340–1349 (англ.).
20. Развитие техники моделирования и управления распределением шихты в доменной печи. Development of Blast Furnace Burden Distribution Process Modeling and Control / Y. Yang, Y. Yin, D. Wunsch et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1350–1363 (англ.).
21. Холодная прочность и поведение при высокой температуре самовосстанавливающихся брикетов, содержащих пыль дуговых печей и антрацит. Cold Strength and High Temperature Behaviors of Self-Reducing Briquette Containing Electric Arc Furnace Dust and Anthracite / S. Wu, F. Chang, J. Zhang et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1364–1373 (англ.).
22. Экспериментальное и кинетическое моделирование восстановления композиционных окатышей из оксида железа и биоугля. Experiments and Kinetic Modeling for Reduction of Ferric Oxide-biochar Composite Pellets / G. Wang, J. Zhang, G. Zhang et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1374–1383 (англ.).
23. Динамика миграции воды внутри частиц в процессе окомкования железной руды. Intra-Particle Water Migration Dynamics during Iron Ore Granulation Process / T. Higuchi, L. Lu, E. Kasai // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1384–1393 (англ.).
24. Дополнительные шлаковые окна для повышения эффективности дуговой печи: концептуальное исследование. Additional Slag Doors for Increased EAF Efficiency: A Conceptual Study / Y. Saboohi, A. Fathi, I. Skrjanc // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1394–1399 (англ.).
25. Влияние состава шлака на кинетику окисления легирующих элементов при электрошлаковом переплаве нержавеющей стали. Часть 1. Модель массопереноса. Effect of Slag Composition on the Oxidation Kinetic of Alloying Elements during Electroslag Remelting of Stainless Steel: Part-1 Mass-transfer Model / D. Hou, Z.-H. Jiang, Y.-W. Dong et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1400–1409 (англ.).
26. Влияние состава шлака на кинетику окисления легирующих элементов при электрошлаковом переплаве нержавеющей стали. Часть 2. Регулирование содержания титана и алюминия. Effect of Slag Composition on the Oxidation Kinetics of Alloying Elements during Electroslag Remelting of Stainless Steel: Part-2 Control of Titanium and Aluminum Content / D. Hou, Z.-H. Jiang, Y.-W. Dong // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1410–1419 (англ.).
27. Метод оперативного непрерывного анализа травильного раствора для стали с применением спектроскопии в ближней инфракрасной области. Fast and Continuous Analysis Method for Steel Pickling Solution Using Near-Infrared Spectroscopy / M. Inose, T. Matsushima, S. Kinoshiro et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1420–1424 (англ.).
28. Точность метода диска для прогнозирования остаточных напряжений в валках с измерением напряжений в дискообразном фрагменте. Accuracy of Disk Method to Predict Roll Residual Stress by Measuring the Sliced Disk Stress / N.-A. Noda, K. Hu, Y. Sano et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1433–1441 (англ.).
29. Эволюция микроструктуры холодной деформации при холодной прокатке поликристаллической особо низкоуглеродистой титансодержащей стали. Evolution of Heterogeneous Deformation Microstructures during Cold Rolling of Poly-crystalline Ti-added Ultra Low Carbon Steel / G. Tsukamoto, T. Morikawa, K. Higashida et al. // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1476–1483 (англ.).
30. Возможности воздушной классификации для регулирования цинка при рециклинге пыли в доменном производстве. Potential of Air Classification for Zinc Management in fast Recycling in Ironmaking / C. Lanzerstorfer // ISIJ International. 2017. V. 57. № 8. С. 1484–1489 (англ.).

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

(по данным российских и зарубежных СМИ и пресс-служб предприятий)

В РОССИЙСКОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

По данным Росстата, индекс промышленного производства в январе–ноябре 2017 г. составил 101,2 % к январю–ноябрю 2016 г.

В ноябре 2017 г. он составил 96,4 % к ноябрю 2016 г.

Индекс металлургического производства в январе–ноябре 2017 г. продемонстрировал снижение и составил 95,9 % к январю–ноябрю 2016 г.

В ноябре 2017 г. по сравнению с ноябрем 2016 г. — 79,4 %.

Индекс производства готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования, в январе–ноябре 2017 г. по сравнению с январем–ноябрем 2016 г. составил 96,5 %.

В ноябре 2017 г. по сравнению с ноябрем 2016 г. — 97,8 %.

Выпуск важнейших видов продукции черной металлургии за январь–ноябрь 2017 г., млн т

Продукция	Январь–ноябрь 2017 г.	Изменение январь–ноябрь 2017 г./ январь–ноябрь 2016 г., %
Концентрат железорудный	86,9	93,7
Ферросилиций, тыс. т	761,4	90,6
Чугун	47,6	100,3
Сталь нелегированная в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из нелегированной стали	49,4	100,3
Прокат готовый черных металлов	54,6	100,7

По данным Росстата, в январе–ноябре 2017 г. металлургические предприятия изготовили 47,6 млн т чугуна (чугун зеркальный и передельный в чушках, болванках или прочих первичных формах), что на 0,3 % выше объемов января–ноября 2016 г.

В ноябре 2017 г. производство чугуна выросло относительно ноября 2016 г. на 1,9 % и составило 4,4 млн т.

По данным Росстата, в январе–ноябре 2017 г. российские металлурги произвели 55,5 млн т готового проката, что на 0,7 % выше объемов января–ноября 2016 г.

В ноябре 2017 г. производство готового проката черных металлов сократилось на 6,8 % по сравнению с ноябрем 2016 г.

Экспорт из России в январе–ноябре 2017 г.

Показатель	Объем, тыс. т
Руды и концентраты железные	19394,9
Кокс и полукокс	2713,9
Чугун	4066,0
Ферросплавы	677,0
Полуфабрикаты из углеродистой стали	12999,8
Прокат плоский из углеродистой стали	7924,1

По данным Федеральной таможенной службы (ФТС), в январе–ноябре 2017 г. доля металлов и изделий из них в общем стоимостном объеме экспорта в страны дальнего зарубежья составила 10 %.

В январе–ноябре 2016 г. доля составляла 9,9 %.

Стоимостный объем экспорта вырос на 28 % по сравнению с январем–ноябрем 2016 г., а физический снизился на 3,2 %. Экспорт чугуна сократился на 13,1 %, полуфабрикатов — на 5,6 %, ферросплавов — на 5,8 %.

Доля металлов и изделий из них в общем стоимостном объеме экспорта в страны СНГ в январе–ноябре 2017 г. составила 12,3 %, рост на 0,5 % к уровню января–ноября 2016 г. Возросли физические объемы экспорта черных металлов на 12,1 %, в том числе ферросплавов — на 61,2 %, полуфабрикатов — на 19,9 %, листового проката — на 18,8 %.

Импорт в Россию в январе–ноябре 2017 г.

Показатель	Объем, тыс. т
Черные металлы (кроме чугуна, ферросплавов, отходов и лома)	5142,8
Трубы стальные	657,1

По данным ФТС, в январе–ноябре 2017 г. в товарной структуре российского импорта из стран дальнего зарубежья удельный вес металлов и изделий из них составил 5,7 %, превысив показатель января–ноября 2016 г. на 0,3 %.

Физический объем импорта металлов и изделий из них увеличился на 40,6 % по сравнению с январем–ноябром 2016 г., стоимостный — на 31,5 %. Также возросли физические объемы ввоза стальных труб на 77,4 %, листового проката — на 10 %.

Удельный вес металлов и изделий из них в товарной структуре импорта из стран СНГ в январе–ноябре 2017 г. составил 16,8 % (рост по сравнению с январем–ноябром 2016 г. — 3 %). Импорт листового проката увеличился на 39,9 % (физический объем), труб — на 29,9 %.

По данным Росстата, в январе–ноябре 2017 г. трубные предприятия снизили произ-

водство стальных бесшовных труб для нефте- и газопроводов на 2,7 %, до 0,6 млн т, по сравнению с январем–ноябром 2016 г.

В ноябре 2017 г. производство выросло на 0,9 % по сравнению с ноябрем 2016 г. и на 30 % по сравнению с октябрём 2017 г.

Индекс производства кокса и нефтепродуктов в январе–ноябре 2017 г. по сравнению с январем–ноябром 2016 г. составил 100,6 %.

В ноябре 2017 г. индекс составил 101,6 % по сравнению с ноябрем 2016 г.

Индекс производства по виду деятельности “Добыча полезных ископаемых” в январе–ноябре 2017 г. по сравнению с январем–ноябром 2016 г. составил 102,2 %.

В ноябре 2017 г. индекс составил 99 % по сравнению с соответствующим месяцем 2016 г.

НОВОСТИ РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Группа НЛМК в рамках реконструкции доменного и конвертерного производства в декабре 2017 г. начала строительные работы на объектах энергетической инфраструктуры и газоочистки конвертерного цеха № 2.

К 2020 г. производительность конвертерного цеха НЛМК вырастет на 19 %, до 10 млн т/год стали, кроме того, сократятся удельные выбросы в атмосферу на 56 %.

Производство стали на липецкой площадке увеличится с 13 до 14 млн т/год.

В рамках проекта реконструкции КЦ-2 поэтапно заменят конвертеры № 2 и 3 объемом 300 т каждый на агрегаты объемом по 330 т, установят новые машины подачи кислорода, внедрят современные системы автоматизации технологического процесса и анализа отходящих газов. Для каждого из новых конвертеров построят газоотводящие тракты с системами улавливания и очистки выбросов.

Реконструкцию планируется завершить в 2020 г.

Общая стоимость проекта оценивается в 17,2 млрд руб.

На Магнитогорском металлургическом комбинате (группа ММК) заканчивается подготовительный этап работ по возведению новой аглофабрики.

В марте 2018 г. планируется начать монтаж основного технологического оборудования на агломашинах № 1 и 2.

Ввод в эксплуатацию новой аглофабрики производительностью 5,5 млн т/год агломерата запланирован на конец 2019 г.

С вводом фабрики в строй улучшится качество агломерата и снизится экологическая нагрузка.

Суммарные вложения составят около 22 млрд руб.

На Магнитогорском металлургическом комбинате в сортопрокатном цехе намерены модернизировать мелкосортно-проволочный двухниточный стан 170.

Стан 170 имеет производительность до 765 тыс. т/год и предназначен для производства катанки диам. 5,5–22 мм, а также арматуры диам. 8–16 мм.

Модернизация позволит получить на линии воздушного охлаждения конечные механические свойства, соответствующие российским и мировым стандартам для высокоуглеродистой стали.

В результате реконструкции будет обеспечено производство проката из высокоуглеродистой стали (0,45–0,85 % С) диам. 5,5–16 мм при максимальной скорости до 90 м/с и максимальной производительности стана до 130 т/ч. Кроме того, повысится содержание сорбитизированного перлита в микроструктуре прокатываемой высокоуглеродистой стали, улучшатся механические

свойства металла, снизится неравномерность микроструктуры и пр.

Стоимость контракта по модернизации составляет 5,5 млн евро.

Завершение проекта намечено на 2019 г.

На Череповецком металлургическом комбинате (входит в дивизион “Северсталь Российская сталь”) намерены модернизировать стан 2000.

В результате модернизации повысится качество горячекатаного проката за счет достижения требуемых параметров обжатия сляба по ширине и толщине.

Затраты на модернизацию стана составят около 2 млрд руб.

“Тулачермет-Сталь” в рамках реализации проекта литейно-прокатного комплекса (ЛПК) завершает строительство прокатного стана 9501.

На стане будут производить мелкосортный металлопрокат.

Первая очередь ЛПК предполагает производство 1,7 млн т/год качественного сортового и фасонного проката.

Группа ЧТПЗ в рамках программы модернизации на Первоуральском новотрубном заводе (ПНТЗ) ввела в эксплуатацию новый гидравлический пресс для испытания холоднодеформированных труб.

Оборудование предназначено для проверки герметичности труб диам. 20–60 мм с толщиной стенки 2–13 мм.

Ввод прессы на ПНТЗ позволит нарастить экспортные поставки холоднодеформированных труб. По итогам 9 мес. 2017 г. доля группы ЧТПЗ в отгрузках холоднодеформированных труб на российский рынок составила 55,3 %.

Сумма инвестиций в проект составила 60 млн руб.

Златоустовский электрометаллургический завод в 2017 г. модернизировал производство.

На заводе расширен сортамент выпускаемой продукции. Кроме того, завершается строительство комплексно-трансформаторной подстанции

пресса, продолжается строительство на базе прокатного цеха № 3 участка печей термического отжига, которые планируется ввести в строй в 2018 г.

В 2017 г. инвестиции в техническое перевооружение завода составили 310,6 млн руб.

Набережночелнинский трубный завод в Татарстане начал производство обсадных труб для нефтегазовой отрасли России.

Производство расположено на территории индустриального парка “Челны”. Проектная мощность предприятия 48 тыс. т изделий.

Объем инвестиций в новый завод составили 621,8 млн руб.

На Абагурской обогатительной фабрике (“Евразруда”, входит в “ЕВРАЗ Холдинг”) реализуется проект по увеличению производительности участка помола.

Четыре шаровые мельницы заменят на более эффективные, дополнительно установят еще одну. Данная модернизация позволит увеличить объем переработки первичного концентрата до 6,5 млн т/год (на 200 тыс. т).

Инвестиции в проект составят 140 млн руб.

На Стойленском ГОКе (СГОК, входит в группу НЛМК) в рамках “Стратегии 2017” были введены в эксплуатацию четыре установки пресс-валкового измельчения руды.

Это позволило увеличить производительность обогатительной фабрики СГОКа до 17,4 млн т/год железорудного концентрата (на 0,8 млн т) и на 100 % закрыть потребности доменного производства группы НЛМК в железорудном концентрате с содержанием железа выше 65 %.

Кроме того, существенно сократились энергозатраты и расход мелющих тел на переработку руды.

Горно-обогатительный комбинат “Карельский окатыш” (входит в “Северсталь”) завершает модернизацию третьей стадии мокрой магнитной сепарации.

За время реализации инвестиционной программы были установлены 18 сепараторов — по два на каждую из девяти секций. Производительность сепараторов составляет 250 т/ч.

Раздел подготовлен по материалам ОАО “Черметинформация”, следующих информационных агентств: “Коммерсантъ”, “Урал-пресс-информ”, “Металлсервис”, infogeo.ru, MetalTorg.Ru, “Финам.Ru”, “Рейтер”, metallicheskiy-portal.ru, “Металлоснабжение и сбыт”, rusmet.ru, а также Министерства экономического развития РФ, Федеральной государственной службы статистики РФ, Федеральной таможенной службы РФ и пресс-служб предприятий и компаний.

В МЕТАЛЛУРГИИ МИРА

По данным World Steel Association (WSA), в январе–ноябре 2017 г. мировое производство чугуна составило 1079 млн т, что на 0,4 % выше показателя января–ноября 2016 г.

Крупнейшими производителями чугуна в январе–ноябре 2017 г. оставались Китай (656,1 млн т, рост на 1,7 %), Япония (71,8 млн т, снижение на 2,5 %), Индия (60,2 млн т, рост на 3,7 %) и Россия (47,4 млн т).

В число ведущих продуцентов чугуна вошли:

- Южная Корея (39,3 млн т, рост на 1,6 %);
- Германия (26 млн т, рост на 4 %);
- Бразилия (26 млн т, рост 9,1 %);
- США (20,4 млн т, снижение на 0,3 %).

По данным WSA, в январе–ноябре 2017 г. в мире было выплавлено 1536 млн т стали, что на 5,4 % выше показателя января–ноября 2016 г.

По сравнению с октябрём этот показатель в ноябре был ниже на 6 % (8,69 млн т). Практически все ведущие страны мира нарастили выплавку стали.

В странах Азии производство стали в январе–ноябре 2017 г. выросло на 5,6 %, до 1056 млн т, в том числе в Китае — на 5,7 %, до 764,8 млн т. Япония снизила выпуск стали на 0,1 %, до 95,9 млн т, Индия увеличила, по уточненным данным, производство стали на 6,2 %, до 92,5 млн т. Производство в Южной Корее увеличилось на 2,8 %, до 64,5 млн т.

Рост производства стали в январе–ноябре 2017 г. достиг в европейских странах (ЕС-28) 3,8 %, до 154,9 млн т. В том числе увеличилось производство стали в Германии до 39,9 млн т (на 2,9 %), в Италии — до 22,3 млн т (на 3,1 %), в Испании — до 13,1 млн т (на 3,4 %), сократилось в Великобритании на 1,8 %.

Производство стали в Турции на 12,7 % было выше уровня аналогичного периода 2016 г. и составило 34,2 млн т.

В Северной Америке производство стали за рассматриваемый период составило 106,4 млн т, в том числе в США выросло на 4,1 %, до 74,9 млн т.

В странах Южной Америки выпуск стали увеличился до 40,1 млн т, на 7,9 %.

В странах СНГ в январе–ноябре 2017 г. производство стали выросло на 0,4 % и составило 93,8 млн т, Казахстан увеличил выпуск стали на 7,8 %, до 4,2 млн т.

По предварительным данным WSA, среднегодовая загрузка металлургических мощностей в мире в ноябре 2017 г. составила

70,7 %, что выше уровня ноября 2016 г. на 1,5 %.

В ноябре 2017 г. загрузка мировых металлургических мощностей была ниже уровня октября 2017 г. на 2,2 %.

По данным WSA, мировое производство железа прямого восстановления (DRI) в январе–ноябре 2017 г. выросло на 9,4 %, до 66,4 млн т, по сравнению с январем–ноябрем 2016 г.

Первое место по производству DRI в январе–ноябре 2017 г., по уточненным данным, заняла Индия с производством 23,7 млн т, в Иране произведено 18,5 млн т, далее следуют Мексика — 5,5 млн т и Саудовская Аравия — 4,5 млн т.

США

По предварительным данным American Iron and Steel Institute (AISI), импорт готовой стальной продукции в США в 2017 г. составил 29,53 млн т, что на 12,1 % выше объема 2016 г.

В декабре основные поставки в страну осуществляли такие страны, как Южная Корея, Бразилия, Япония и Германия.

Доля импорта готовой стальной продукции в декабре 2017 г. составляла, по оценке, 22 %, в среднем за 2017 г. — 27 %.

ЕВРОПА

По данным ассоциации Eurofer, в январе–ноябре 2017 г. страны ЕС-28 сократили объемы экспорта сортового и листового проката на 4 %, до 18,7 млн т, по сравнению с январем–ноябрем 2016 г.

В том числе экспорт листового проката вырос на 3,8 %, до 12,1 млн т, в годовом сравнении, сортового проката сократился на 15,4 %, до 6,7 млн т.

По данным ассоциации Eurofer, страны ЕС-28 в январе–ноябре 2017 г. увеличили импорт сортового и листового проката на 1,7 %, до 22,3 млн т, по сравнению с январем–ноябрем 2016 г.

Импорт листового проката возрос на 4,3 %, до 17,8 млн т, ввоз сортового проката сократился на 7,5 %, до 4,5 млн т.

ТУРЦИЯ

По данным Turkey's Steel Exporters' Association (CIB), в 2017 г. Турция увеличила экспорт металлопродукции на 7,7 %, до 17,8 млн т, по сравнению с 2016 г.

Основные поставки пришлись на арматуру, горячекатаный листовой прокат.

ЛАТИНСКАЯ АМЕРИКА

По данным Latin American Steel Association (Alacero), в январе–октябре 2017 г. производство стального проката выросло на 3 %, до 44 млн т, по сравнению с объемом января–октября 2016 г.

Основным производителем является Бразилия — 18,7 млн т проката (42 % от общего производства региона). На долю Мексики приходится 36 % (15,6 млн т) общего производства проката в регионе.

По данным Alacero, в январе–октябре 2017 г. видимое потребление стальной продукции в странах Латинской Америки и Карибского бассейна выросло на 4 % и составило 55,3 млн т по сравнению с январем–октябрем 2016 г.

На листовой прокат пришлось 57 % (31,7 млн т), сортовой прокат — 41 % (22,4 млн т), трубы — 2 % (1,1 млн т).

Рост потребления проката отмечался в таких странах, как Мексика, где объем потребления стальной продукции вырос на 7 %, до 1,4 млн т, по сравнению с январем–октябрем 2016 г., Бразилия — на 5 %, Чили — на 1 %.

По данным Alacero, в январе–октябре 2017 г. экспорт стального проката из стран Латинской Америки и Карибского бассейна составил 7,9 млн т, что на 9 % выше объемов января–октября 2016 г.

В том числе на долю экспортных поставок листового проката пришлось 50 % (3,9 млн т), сортового — 41 % (3,2 млн т) и бесшовных труб — 9 % (717 тыс. т). Основным экспортером осталась Бразилия.

По данным Alacero, в январе–октябре 2017 г. страны Латинской Америки импортировали 17,7 млн т стального проката, что на 9 % выше показателя января–октября 2016 г.

Доля импортного листового проката в общем объеме ввезенного стального проката выросла и составила 70 % (12,4 млн т), сортового — 27 %

(4,8 млн т) и на долю бесшовных труб пришлось 3 % (480 тыс. т). Доля импортного проката в потреблении составила около 32 %.

БРАЗИЛИЯ

По предварительным данным IABr, в 2017 г. импорт листового проката в Бразилию вырос на 84 %, до 604 тыс. т, по сравнению с 2016 г.

В том числе импорт горячекатаного листового проката увеличился на 49,7 %, до 122 тыс. т, и холоднокатаного — почти в 2 раза, до 217 тыс. т.

По предварительным данным IABr, в 2017 г. импорт сортового проката в Бразилию сократился на 23 %, до 198 тыс. т, по сравнению с 2016 г.

В том числе на поставки из Китая в 2017 г. пришлось почти 31 % (61 тыс. т), на Южную Корею — 16 % (30,9 тыс. т).

ЯПОНИЯ

По данным Japan Iron and Steel Federation (JISF), в январе–ноябре 2017 г. Япония сократила производство горячекатаного проката из рядовой стали на 1,5 %, до 66,17 млн т, по сравнению с аналогичным периодом 2016 г.

Снижение производства отмечалось по сортаментным группам: рельсы, крупный сорт из рядовой стали.

Производство горячекатаного проката из специальных сталей выросло на 5,2 %, до 18,65 млн т.

По данным JISF, в январе–ноябре 2017 г. Япония поставила на экспорт 33,8 млн т стальной продукции, что на 8,1 % ниже по сравнению с объемом января–ноября 2016 г.

Экспортные поставки стального проката из рядовой стали сократились на 10,3 %, до 22,4 млн т, полуфабрикатов — на 6,1 %, до 3,9 млн т, поставки проката из специальных сталей — на 1,9 %, до 7,6 млн т.

Основным экспортным направлением для японского стального проката оставались страны Азии, в которые в рассматриваемый период было отгружено 22,5 млн т (без учета Китая). Экспорт в Китай вырос на 1,6 %, до 5,1 млн т. Поставки японской продукции в страны Ближнего Востока и Европу упали на 39,6 и 41 % соответственно, в Северную Америку — на 10,5 %, поставки в Латинскую Америку — на 8,5 %.

По данным JISF, в январе–ноябре 2017 г. Япония увеличила импорт готовой стальной продукции до 5,3 млн т, что на 4,4 % выше показателя 2016 г.

Импортные поставки стального проката из рядовой стали выросли на 9,1 %, до 4,3 млн т, из специальных сталей сократились на 17 %, до 818 тыс. т, по сравнению с январем–ноябром 2016 г.

Основные поставщики металлопродукции в Японию нарастили отгрузки: Южная Корея (10,5 %), Китай (21,7 %), Тайвань (0,5 %), европейские страны, в том числе Германия, 17,8 %.

КИТАЙ

По предварительным данным Государственной таможни Китая, по итогам 2017 г. Китай экспортировал 75,43 млн т стальной продукции, что на 30,5 % ниже объемов 2016 г.

Министерство промышленности и информационных технологий Китая намерено обеспечить ликвидацию всех устаревших сталеплавильных мощностей в стране.

Кроме того, правительство будет поощрять производителей, использующих электродуговые печи, оно призывает увеличить сбор металлолома в стране. Ожидается, что новый шаг по стимулированию электрометаллургии приведет к увеличению внутреннего спроса на металлолом.

В январе–ноябре 2017 г. производство нержавеющей стали в Китае выросло на 5 %, до 22,28 млн т, по сравнению с январем–ноябром 2016 г.

В ноябре 2017 г. в Китае произведено 2,15 млн т нержавеющей стали, что ниже на 1,5 % к предыдущему месяцу.

ИНДИЯ

По итогам 2017 г. производство стали в Индии выросло на 5,8 %, до 101,2 млн т, что больше, чем за аналогичный период предыдущего финансового года.

Объемы производства в Индии за декабрь 2017 г. составили 8,65 млн т, рост показателя на 3,2 % по сравнению с декабрем 2016 г.

Индия начинает разработку новых марок электротехнической стали и стали для автомобильной промышленности.

Индийская государственная компания Mecon с итальянской компанией Centro Sviluppo Materiali подписали соглашение, которое пересматривает передачу индийцам технологий производства антикоррозионных сталей, в частности для изготовления нефтегазопроводных труб.

Проект реализуется в рамках национальной политики Индии (National Steel Policy), которая предусматривает увеличение производства стали почти в 3 раза в течение следующего десятилетия и снижение зависимости от импорта.

В настоящее время в Индии практически не выпускается прокат из специальных сталей, используемый, в частности, в автомобилестроении и производстве электротехники, он импортируется.

По прогнозу MEPS, производство нержавеющей стали в Индии в 2018 г. достигнет 4 млн т (рост на 8–9 %).

Рост будет обеспечен увеличением внутреннего спроса со стороны автомобильного сектора, строительства и инфраструктуры. Однако если производство превысит внутреннее потребление, то излишки отправятся на внешние рынки.

БЕЛОРУССИЯ

По данным государственной статистики Республики Беларусь, индекс металлургического производства и производства готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования, в январе–ноябре 2017 г. по сравнению с январем–ноябром 2016 г. составил 105,1 % (в сопоставимых ценах).

По данным государственной статистики Республики Беларусь, в январе–ноябре 2017 г. производство стали составило 2,21 млн т, что на 5,6 % выше показателей января–ноября 2016 г.

Производство готового проката за рассматриваемый период составило 1,99 млн т и выросло на 5,8 %, стальных труб — 156,5 тыс. т (рост на 19,5 %).

КАЗАХСТАН

По данным государственной статистики Республики Казахстан, по итогам 2017 г. индекс промышленного производства составил 107,1 % по сравнению с 2016 г.

По данным государственной статистики Республики Казахстан, по итогам 2017 г. индекс производства готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования, составил 105,8 % по сравнению с 2016 г.

Увеличилось производство продукции черной металлургии — 106,9 %.

По данным государственной статистики Республики Казахстан, по итогам 2017 г. металлургические компании страны выплавляли 4,66 млн т стали, что на 9,4 % выше, чем в 2016 г.

В декабре 2017 г. выпуск стали составил 0,42 млн т (рост на 13,9 % к 2016 г., к ноябрю 2017 г. — 2,2 %).

В 2017 г. производство листового проката сократилось на 0,1 %, до 2,97 млн т.

Производство ферросплавов в 2017 г. выросло на 6,6 % и составило 1,94 млн т. В декабре 2017 г. рост к декабрю 2016 г. на 6,1 %, до 0,17 млн т.

УКРАИНА

По предварительным данным “Укрметаллурпрому”, по итогам 2017 г. украинские металлургические предприятия сократили выплавку стали на 12 %, до 21,3 млн т, по сравнению с объемом 2016 г.

Производство чугуна сократилось на 15 %, до 20 млн т. Производство металлопроката уменьшилось на 14 %, до 18,4 млн т.

В декабре 2017 г. Украина выплавляла 1,88 млн т стали, что на 0,4 % больше по сравнению с предыдущим месяцем. Производство металлопроката выросло на 0,7 %, до 1,7 млн т.

ЖЕЛЕЗОРУДНЫЙ СЕКТОР

По данным Metal Bulletin, в середине января 2017 г. стоимость руды с 62 %-ным содержанием железа на спотовом рынке составляла 78,05 долл/т CFR с доставкой в китайский морской порт.

Иран вводит 10 %-ную пошлину на экспорт железной руды.

В 2018 г. власти Ирана намерены ввести экспортную пошлину на железную руду.

Размер пошлины составит 10 %, к марту 2019 г. она увеличится до 15 %.

По данным иранской государственной организации IMIDRO, за восемь месяцев иранского финансового года (период с 21 марта по 21 ноября 2017 г.) экспорт железной руды из Ирана вырос на 11,8 %, до 12,57 млн т, по сравнению с аналогичным периодом прошлого иранского финансового года.

Основные поставки осуществлялись в Китай.

В прошлом году Иран экспортировал около 15 млн т железной руды, из них 13,5 млн т было отгружено в Китай.

По данным National Union of the Industry of Extraction of Iron and Base Metals (Sinferbase), в январе–ноябре 2017 г. Бразилия увеличила экспорт железной руды на 4,6 %, до 315 млн т, по сравнению с аналогичным периодом 2016 г.

Экспорт окатышей вырос на 11,4 %, до 27,3 млн т.

В ноябре 2017 г. бразильские горнорудные компании увеличили экспорт железной руды по сравнению с ноябрем 2016 г.

В январе–ноябре 2017 г. компания Vale экспортировала 299,7 млн т железорудного сырья, что на 4,6 % выше уровня 2016 г., доля компании в общем объеме экспорта составила 95,2 %.

Компания Anglo American экспортировала 15,1 млн т (рост на 7,1 %).

По предварительным данным Китайской таможенной службы, по итогам 2017 г. Китай импортировал 1,07 млрд т железной руды, что на 5 % больше по сравнению с объемом 2016 г.

В декабре 2017 г. Китай импортировал 84,3 млн т железорудного сырья, что ниже объемов ноября на 11 %.

Раздел подготовлен по материалам ОАО “Черметинформация”, следующих информационных агентств: Bloomberg, Sinferbase, Reuters, Metal Bulletin, MetalTorg.Ru, infogeo.ru, metallichekiy-portal.ru, “Белстат”, “Металлсервис”, Steelland, а также World Steel Association, Joint Plant Committee, Indian Steel Ministry, Eurofer, International Stainless Steel Forum, American Iron and Steel Institute, Brazil Steel Institute, Japan Iron and Steel Federation, MEPS, Istanbul Mineral and Metals Exporters' Association, Bureau of Resources and Energy Economics, Министерство промышленности и торговли Вьетнама, “Агентство Республики Казахстан по статистике”, “Агентство Республики Беларусь по статистике”.

УДК 669.1:338.3

**ИТОГИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ РОССИИ
ЗА 9 мес. 2017 г.**

Т. М. ПЕТРАКОВА, канд. экон. наук; И. М. ИВАНОВА (ОАО «Черметинформация»)

Приведены основные показатели работы черной металлургии за 9 мес. 2017 г., включая объемы производства продукции, выручку от реализации продукции ведущих металлургических и трубных предприятий отрасли. Показано изменение темпов роста производства основных видов металлопродукции, физического объема экспорта продукции и уровня средних фактических цен экспортных операций и др.

Рассмотрены вопросы использования материальных и энергетических ресурсов. Приведены данные по удельному расходу: основных материалов при производстве чугуна, стали и проката; железорудной части шихты по предприятиям; скипового кокса на 1 т передельного чугуна; чугуна при производстве конвертерной стали; чугуна при производстве электростали; электроэнергии при производстве электростали; стали при производстве готового проката.

Ключевые слова: черная металлургия; металлопродукция; экспорт; импорт; материальные и энергетические ресурсы; чугун; сталь; прокат.

**THE RESULTS OF THE ACTIVITIES OF THE ENTERPRISES IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY IN
RUSSIA WITHIN THE 9 MONTHS IN 2017**

T. M. PETRAKOVA, PhD (Econ); I. M. IVANOVA (OAO «Chermetinformatsiya»)

The main indices of the activities of the enterprises in the iron and steel industry in Russia within the months in 2017, including the products manufacturing volumes, product sales proceeds at the leading sectoral metallurgical enterprises and pipe and tube plants have been presented. The variations of the growth rates of the main metal product kinds manufacturing, physical product export volumes, and the levels of the average effective prices of the export operations, and others have been shown.

The problems of the utilization of the material and energy resources have been considered. The data on the specific consumptions of the main materials during manufacturing the cast iron, steel, and rolled products, iron ore parts of charge materials by the enterprises, skip coke per 1 pig iron tonne, pig iron during steel producing in the basic oxygen furnaces, pig iron during steel producing in the electric arc furnaces, electric energy during steel producing in the electric arc furnaces, steel during manufacturing the finished rolled products has been presented.

Key words: iron and steel industry, metal products, exports, imports, material and energy resources, pig iron, steel, rolled products.

УДК 669.1:504.06

НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ

*В. М. ЧИЖИКОВА, д-р техн. наук, проф.
(член технической рабочей группы Бюро НДТ № 26
«Производство чугуна, стали и ферросплавов»,
главный эколог ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»)*

Представлено краткое содержание разработанных информационно-технических справочников для металлургической промышленности. Показаны подходы к идентификации наилучших доступных технологий, формированию технологических показателей для металлургических технологий. Приведены значения отдельных показателей наилучших доступных технологий. Отражены основные проблемы, связанные с разработкой и последующим применением технологических показателей.

Ключевые слова: черная металлургия; информационно-технический справочник; металлургические технологии; наилучшие доступные технологии; технологический показатель; выбросы загрязняющих веществ; образование отходов; утилизация отходов; вторичные энергетические ресурсы.

THE BEST APPROACHABLE TECHNOLOGIES IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY

*V. M. CHIZHIKOVA, Higher Doctorate (Tech), Professor
(member of technical operating group of Bureau NDT № 26
“Iron, steel and ferroalloys production”, chief ecologist
PAO “Novolipetskiy Metallurgicheskiy Kombinat”)*

The brief contents of the developed informational and technical reference books for the iron and steel industry have been presented. The approaches to the identification of the best approachable technologies, to the formation of the technological indicators for the metallurgical technologies have been shown. The main problems connected with the development and subsequent application of the technological indicators have been described.

Key words: iron and steel industry, informational and technical reference book, metallurgical technologies, best approachable technologies, technological indicator, contaminating substance emissions, waste formation, waste reclamation, secondary energy resources.

УДК 624.4

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВОЙ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ КАРЬЕРОВ

*С. П. ЕРОНЬКО¹, д-р техн. наук, проф., ersp@meta.ua; М. Ю. ТКАЧЕВ¹, канд. техн. наук;
Е. Н. СМІРНОВ², д-р техн. наук, проф.; В. А. СКЛЯР², канд. техн. наук; А. В. САЗОНОВ², канд. техн. наук
(¹ ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”,
² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”)*

Рассмотрены конструктивные особенности и принцип действия новой системы проветривания карьеров. Приведены результаты исследования параметров безопасного вентилятора.

Ключевые слова: горнорудное производство; карьер; системы проветривания карьеров; безопасный вентилятор; физическая модель вентиляторной системы.

THE DEVELOPMENT OF THE DESIGN AND MODEL INVESTIGATIONS INTO THE NEW FAN SYSTEM FOR THE VENTILATION OF THE OPEN PITS

*S. P. ERON'KO¹, Higher Doctorate (Tech), Professor, ersp@meta.ua;
M. Yu. TKACHEV¹; PhD (Tech);
E. N. SMIRNOV², Higher Doctorate (Tech), Professor;
V. A. SKLYAR², PhD (Tech); A. V. SAZONOV², PhD (Tech)
(¹ GOU VPO “Donetskiy Natsional'nyi Tekhnicheskiy Universitet”,
² A.A. Ugarov Staryi Oskol Technological Institute (branch) of the
FGAOU VO “Natsional'nyi Issledovatel'skiy Tekhnologicheskiy Universitet “MISiS”)*

The design special features and operating principle of the new fan system for the ventilation of the open pits have been considered. The results of the investigations into the parameters of the bladeless fan have been presented.

Key words: ore-mining industry, open pit, open pit ventilation systems, bladeless fan, physical fan system model.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ ИЗ КАРЬЕРА АВТОМОБИЛЬНЫМ НАКЛОННЫМ КАРЬЕРНЫМ ПОДЪЕМНИКОМ

М. А. ЧЕНДЫРЕВ, Chendyrev@igduran.ru; А. Г. ЖУРАВЛЕВ, канд. техн. наук (ФГБУН “Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук”)

Представлены результаты исследований по созданию автомобильной наклонной карьерной подъемной установки для транспортирования горной массы. Приведены зависимости эксплуатационных затрат предлагаемой установки от высоты подъема и объема перевозок горной массы из карьера.

Ключевые слова: карьер; транспортирование горной массы; карьерный автосамосвал; канатный подъем; специальные виды транспорта; автомобильная наклонная карьерная подъемная установка.

THE TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF THE TRANSPORTATION OF THE MINED ROCK FROM THE OPEN PIT USING THE INCLINED AUTOMOTIVE OPEN-PIT ELEVATOR

М. А. CHENDYREV, Chendyrev@igduran.ru; А. G. ZHURAVLEV, PhD (Tech) (FGBUN “Institut Gornogo Dela Ural'skogo Otdeleniya Rossiyskoi Akademii Nauk”)

The results of the investigations into the development of the inclined automotive open-pit elevator installation for the transportation of the mined rock have been presented. The dependences of the operational costs of the proposed installation on the lifting height and volume of the transportation of the mined rock from the open-pit have been described.

Key words: open-pit, mined rock transportation, open-pit dump truck, rope lifting, special transport kinds, inclined automotive open-pit elevator installation.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА

Часть 10. Борьба с вредными выбросами агломерационных фабрик. Текущие выбросы агломерационных фабрик

*Ю. А. ФРОЛОВ¹, д-р техн. наук, uaf.39@mail.ru; Л. И. КАПЛУН², д-р техн. наук, проф.;
И. М. МИЩЕНКО³, канд. техн. наук, проф.; Я. Ю. АСЛАМОВА³
(¹ ООО “НПП “Уралэлектра”, ² ФГАОУ ВО “Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина”, ³ ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”)*

Представлена информация о текущих выбросах вредных веществ современных агломерационных фабрик. Дана характеристика выбросов загрязняющих веществ в агломерационном производстве и опыт борьбы с ними в Западной Европе и других развитых странах мира.

Ключевые слова: агломерационное производство; выбросы вредных веществ; очистка отходящих газов; наилучшие и доступные технологии.

THE STATUS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING THE SINTER

The Part 10. The Control of the Harmful Emissions from the Sintering Plants. The Current Emissions from the Sintering Plants

*Yu. A. FROLOV¹, Higher Doctorate (Tech), uaf.39@mail.ru;
L. I. KAPLUN², Higher Doctorate (Tech), Professor;
I. M. MISHCHENKO³, PhD (Tech), Professor; Ya. Yu. ASLAMOVA³
(¹ ООО “NPP “Uralelectra”; ² FGAOU VO “Ural'skiy Federal'nyi Universitet imeni Pervogo Prezidenta Rossii B.N. El'tsyna”, ³ GOU VPO “Donetskiy Natsional'nyi Tekhnicheskii Universitet”)*

The information on the current emissions of the harmful substances from the modern sintering plants has been presented. The characteristics of the emissions of the harmful substances from the sintering process have been described. The experience in the control of the harmful substances in the West European countries and other developed countries of the world has been shown.

Key words: sintering process, harmful substance emissions; off-gases cleaning, best and approachable technologies.

УДК 622.788

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СПОСОБЫ ГРАНУЛЯЦИИ ТОНКОИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

*А. Ю. ХУДЯКОВ¹, канд. техн. наук; М. Н. БОЙКО², канд. техн. наук;
К. В. БАЮЛ¹, канд. техн. наук, baiul-konstantin@yandex.ru;
С. В. ВАЩЕНКО¹, канд. техн. наук; Н. В. ПОЛЯКОВА², канд. техн. наук, В. И. ПЕТРЕНКО¹
(¹ Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины;
² Национальная металлургическая академия Украины)*

Показано, что предварительная и принудительная грануляция мелкофракционных шихт позволяет повысить газопроницаемость спекаемого слоя, что способствует росту вертикальной скорости спекания и обуславливает увеличение удельной производительности агломерационной установки. Показано, что перспективным направлением дальнейших исследований является развитие способа принудительной грануляции агломерационных шихт.

Ключевые слова: агломерация; тонкоизмельченные железорудные концентраты; мелкофракционная шихта; предварительная грануляция; принудительная грануляция; производительность агломерационной установки.

THE ALTERNATIVE METHODS OF THE GRANULATION OF THE FINELY GROUNDED IRON ORE CONCENTRATES

*A. Yu. KhUDYAKOV¹, PhD (Tech); M. N. BOIKO², PhD (Tech);
K. V. BAYUL¹, PhD (Tech), baiul-konstantin@yandex.ru;
S. V. VASHCHENKO¹, PhD (Tech); N. V. POLYAKOVA², PhD (Tech); V. I. PETRENKO¹
(¹ Z.I. Nekrasov Iron and Steel Industry Institute of Ukrainian National Academy of Sciences;
² National Metallurgical Academy of Ukraine)*

It has been shown that the preliminary and forced fine particle-size sintering mixes granulation makes it possible to improve the gas permeability of the sintered layer and this promotes the growth of the vertical speed of sintering and provides the increase in the specific productivity of the sintering plant. It has been shown that the perspective direction in the following investigations is the development of the method of the forced granulation of the sintering mixes.

Key words: sintering, finely grounded iron ore concentrates, fine particle-size sintering mix, preliminary granulation, forced granulation, sintering plant productivity.

УДК 669.162

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЛИЧЕСТВА ЧУГУНА, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ ФУРМЕННЫЕ ОЧАГИ, ОТ ДИАМЕТРА ГОРНА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

*В. Г. ДРУЖКОВ, канд. техн. наук; Э. М. МАНАШЕВА,
И. В. МАКАРОВА, канд. техн. наук, m.irina1976@mail.ru;
М. В. ПОТАПОВА, канд. техн. наук; В. А. ШАГАН
(ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»)*

Представлен обзор исследований процессов в фурменном очаге доменной печи. Показано, что для уточнения математических моделей фурменного очага, горна печи и доменного процесса в целом

необходимы данные о количестве жидких продуктов плавки, проходящих через фурменные очаги, и доле окисления в них железа чугуна. Приведены результаты аналитических расчетов определения количества чугуна и шлака, проходящего через фурменные очаги.

Ключевые слова: доменная печь; фурменный очаг; диаметр горна доменной печи; жидкие продукты доменной плавки.

THE DISCOVERY OF THE DEPENDENCE OF THE AMOUNT OF THE PIG IRON FLOWING THROUGH THE COMBUSTION ZONES ON THE BLAST FURNACE HEARTH DIAMETER

*V. G. DRUZHKOVA, PhD (Tech); E. M. MANASHEVA,
I. V. MAKAROVA, PhD (Tech), m.irina1976@mail.ru;
M. V. POTAPOVA, PhD (Tech); V. A. SHAGAN*

(FGBOU VO "Magnitogorskiy Gosudarstvennyi Tekhnicheskii Universitet im. G.I. Nosova")

The review of the investigations into the processes in the combustion zone of the blast furnace has been presented. It has been shown that in order to revise the mathematical models of the combustion zone, blast furnace hearth and blast furnace process on the whole the data on the amount of the liquid heat products flowing through the combustion zone of the blast furnace and on the share of the oxidation of the hot metal iron in them is necessary.

Key words: blast furnace, combustion zone, blast furnace hearth diameter, liquid blast furnace heat products.

УДК 621.747

ОБЗОР И АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

*Д. Р. ГАНИН, dmrgan@mail.ru; К. В. ЛИЦИН, канд. техн. наук;
Е. А. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук*

*(Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО "Национальный
исследовательский технологический университет "МИСиС")*

Представлен обзор устройств для подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы машин непрерывного литья заготовок. Рассмотрены устройства, базирующиеся на гравитационном, механическом, пневматическом, пневмомеханическом способах подачи, а также использующие в качестве импульса подачи ШОС режим возвратно-поступательного движения кристаллизатора. Проанализированы их достоинства и недостатки. Приведены способы регулирования подачи ШОС в кристаллизатор МНЛЗ.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок; кристаллизатор; шлакообразующая смесь (ШОС); устройство подачи ШОС; способы регулирования подачи ШОС.

THE REVIEW AND ANALYSIS OF THE DEVICES FOR FEEDING THE CASTING POWDERS INTO THE MOULDS OF THE CONTINUOUS CASTERS FOR THE BILLETS

*D. R. GANIN, dmrgan@mail.ru; K. V. Litsin, PhD (Tech);
E. A. SHEVCHENKO, PhD (Tech)*

*(Novotroitskiy branch of the FGAOU VO "Natsional'nyi Issledovatel'skiy
Tekhnologicheskii Universitet "MISiS")*

The review of the devices for feeding the casting powders into the moulds of the continuous casters for the billets has been presented. The devices on the basis of the gravitational, mechanical, pneumatic, pneumatic and mechanical methods of feeding the casting powders have been considered and the devices using the conditions of the reciprocating mould motion as the impulse of feeding the casting powders has been presented as well. Their advantages and disadvantages have been analyzed. The methods of regulation of feeding the casting powders into the moulds of the continuous casters have been described.

Key words: continuous billet casters, mould, casting powder, device for feeding casting powder, casting powder feeding regulation methods.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВКИ, ФОРМИРУЮЩЕЙСЯ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*А. Б. БИРЮКОВ¹, д-р техн. наук, проф., birukov.tjf@gmail.com;
А. А. ИВАНОВА², канд. техн. наук
(¹ ГОУ ВПО “Донецкий национальный технический университет”,
² ГУ “Институт прикладной математики и механики”)*

Предложена методика определения в режиме реального времени теплового состояния непрерывнолитой сортовой заготовки внутри кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и толщины формирующейся в кристаллизаторе твердой корочки слитка на основе данных системы диагностики теплотехнических процессов.

Ключевые слова: непрерывная разливка стали; сортовая МНЛЗ; диагностика теплотехнических параметров; модель формирования непрерывнолитой заготовки.

THE MATHEMATICAL MODELING OF THE THERMAL STATE OF THE STRAND FORMED IN THE MOULD USING THE SYSTEM FOR THE DIAGNOSTICS OF HEAT ENGINEERING PROCESSES

*A. B. BIRYUKOV¹, Higher Doctorate (Tech), Professor, birukov.uf@gmail.com;
A. A. IVANOVA², PhD (Tech)
(¹ GOU VPO “Donetskiy Natsional’nyi Tekhnicheskii Universitet”,
² GU “Institut Prikladnoi Matematiki I Mekhaniki”)*

The methodology of determining the thermal state of the continuously cast billet in the online mode inside the mould of the continuous caster for the billets

has been proposed. The thickness of the solid strand shell formed in the mould of the continuous caster is determined as well on the basis of the data of the heat engineering process diagnostics system.

Key words: continuous steel casting, billet continuous caster, heat engineering parameter diagnostics, continuously cast billet formation model.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ПЛОСКОЙ СТАЛЬНОЙ ПОЛОСЕ ПРИ ЕЕ ПРАВКЕ В РОЛИКОВОЙ ПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЕ

*Э. А. ГАРБЕР¹, д-р техн. наук, tamz2011@mail.ru; Н. Л. БОЛОБАНОВА¹, К. А. ТРУСОВ²
(¹ ФГБОУ ВО “Череповецкий государственный университет”, ² ПАО “Северсталь”)*

Чтобы установить причину, из-за которой стальные горячекатаные листы, обработанные в роликовой правильной машине (РПМ), теряют плоскостность при лазерной резке, разработана методика моделирования их напряжений и деформаций в процессе правки, основанная на методе конечных элементов. Установлено, что причина потери плоскостности — неравномерное распределение по толщине и ширине листа продольных растягивающих напряжений, приобретаемых при правке. Предложен метод настройки РПМ, исключающий потерю плоскостности при лазерной резке.

Ключевые слова: стальные горячекатаные листы; роликовая правильная машина; продольные растягивающие напряжения; методика моделирования напряжений и деформаций; потеря плоскостности при лазерной резке.

THE SIMULATION OF THE STRESSES AND DEFORMATIONS IN THE PLANE STEEL STRIP DURING ITS STRAIGHTENING IN THE ROLLER STRAIGHTENING MACHINE

*E. A. GARBER¹, Higher Doctorate (Tech), mamz2011@mail.ru;
N. L. BOLOBANOVA¹; K. A. TRUSOV²*

(¹ FGBOU VO "Cherepovetskiy Gosudarstvennyi Universitet", ² PAO "Severstal")

In order to establish the reason owing to which the hot-rolled steel sheets processed in the roller straightening machine lose the flatness during the laser cutting, the methodology of the simulation of their stresses and deformations in the process of straightening has been developed. The methodology has been developed on the basis of the method of the finite elements. It has been established that the reason for the flatness loss is the non-uniform distribution of the longitudinal tensile stresses in the thickness and width of the sheet. These stresses arise during straightening. The method of setting the roller straightening machine, which excludes the loss of the flatness during the laser cutting, has been proposed.

Key words: hot-rolled steel sheets, roller straightening machine, longitudinal tensile stresses, stress and deformation simulation methodology, flatness loss during laser cutting.

УДК 621.774

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ

*М. Ю. ЧУБУКОВ¹, tecmat@vstu.ru; Д. В. РУЦКИЙ¹, канд. техн. наук;
Н. А. ЗЮБАН¹, д-р техн. наук; Д. П. УСКОВ²*

*(¹ ФГБОУ ВО "Волгоградский государственный технический университет",
² АО "Волжский трубный завод")*

Представлены результаты исследования особенностей строения микроструктуры и карбидной фазы в низкоуглеродистых доперитектических и перитектических сталях, используемых для производства бесшовных труб.

Ключевые слова: производство бесшовных труб; низколегированные трубные стали; доперитектические стали; перитектические стали; микроструктура; карбидная фаза.

THE SPECIAL FEATURES IN THE MORPHOLOGY OF THE MICROSTRUCTURES OF THE LOW ALLOY TUBULAR STEELS

*M. Yu. CHUBUKOV¹, tecmat@vstu.ru; D. V. RUTSKIY¹, PhD (Tech);
N. A. ZYUBAN¹, PhD (Tech); D. P. USKOV²*

*(¹ FGBOU VO "Volgogradskiy Gosudarstvennyi Tekhnicheskii Universitet",
² АО "Volzhskiy Trubnyi Zavod")*

The results of the investigations into the special features in the morphology of the microstructures and carbide phases of the low-carbon hypoperitectic and peritectic steel grades used for manufacturing the seamless pipes have been presented.

Key words: seamless pipes manufacturing, low alloy tubular steels, hypoperitectic steels, peritectic steels, microstructure, carbide phase.

УДК 621.791:624

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ НАПЛАВКИ. ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕМОНТА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

*Н. А. КОЗЫРЕВ¹, д-р техн. наук, проф., kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru;
Р. Е. КРЮКОВ¹, канд. техн. наук; А. А. УСОЛЬЦЕВ¹, канд. техн. наук;
А. А. УМАНСКИЙ¹, канд. техн. наук; П. Д. СОКОЛОВ²*

*(¹ ФГБОУ ВО "Сибирский государственный индустриальный университет",
² ООО "ЭлСиб", г. Новокузнецк)*

Показано, что введение в состав порошковой проволоки для наплавки прокатных валков углерод-фторсодержащей добавки взамен аморфного графита обеспечивает улучшение структуры наплавленного слоя. Установлено влияние повышения углеродного эквивалента порошковой проволоки 35В9ХЗСФ на увеличение показателей твердости наплавленного слоя. Полученные в лабораторных условиях зависимости легли в основу новой технологии ремонта прокатных валков используемой в условиях ООО “ЭлСиб”.

Ключевые слова: прокатное производство; ремонт прокатных валков; электродуговая наплавка прокатных валков; порошковая проволока; углеродфторсодержащая добавка; структура наплавленного слоя.

THE DEVELOPMENT OF THE NEW CORED WIRES FOR SURFACING. THE NEW CORED WIRES WITH THE USE OF THE CARBON AND FLUORINE CONTAINING MATERIALS FOR THE REPAIR OF THE MILL ROLLS

*N. A. KOZYREV¹, Higher Doctorate (Tech), Professor, kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru;
R. E. KRYUKOV¹, PhD (Tech); A. A. Usol'tsev¹, PhD (Tech);
A. A. UMANSKIY¹, PhD (Tech); P. D. SOKOLOV²
(¹ FGBOU VO “Sibirskiy Gosudarstvennyi Industrial'nyi Universitet”,
² ООО “ElSib”, Novokuznetsk city)*

It has been shown that the addition of the carbon-fluorine containing additive to the composition of the cored wire instead of the amorphous graphite for surfacing the mill rolls provides the improvement in the surfaced layer structure. The influence of the improvement in the carbon equivalent of the cored 35V9Kh3SF wire on the increase in hardness indicators of the surfaced layer has been established. The dependences obtained under the laboratory conditions have provided the basis for the new technology for the repair of the mill rolls, used under the ООО “ElSib” conditions.

Key words: rolling mill practice, mill roll repair, electric-arc mill roll surfacing, cored wire, carbon-fluorine containing additive, surfaced layer structure.

УДК 621.921.26

ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННОГО МИКРОКРЕМНЕЗЕМА С ПРИМЕНЕНИЕМ БУРОУГОЛЬНОГО ПОЛУКОКСА

*A. E. АНИКИН¹, канд. техн. наук, anikin1985@rambler.ru; Г. В. ГАЛЕВСКИЙ², д-р техн. наук;
В. В. РУДНЕВА², д-р техн. наук; С. Г. ГАЛЕВСКИЙ³, канд. экон. наук
(¹ ООО “Сибпроект”, ² ФГБОУ ВО “Сибирский государственный индустриальный университет”,
³ ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский горный университет”)*

Приведены результаты исследования процессов восстановительной переработки техногенного микрокремнезема на карбид кремния с применением бурогоугольного полукокса. Показано, что в выбранных для термодинамического анализа системах Si–O–C и Si–O–C–H процесс карбидообразования является доминирующим. Установлены условия и показатели химического обогащения продуктов карбидизации.

Ключевые слова: техногенный микрокремнезем; бурогоугольный полукокс; карбид кремния; продукты карбидизации.

THE REDUCING PROCESSING OF THE TECHNOGENEOUS MICRO SILICA WITH THE USE OF THE BROWN COAL SEMICOKE

*A. E. ANIKIN¹, PhD (Tech), anikin1985@rambler.ru; G. V. GALEVSKIY², Higher Doctorate (Tech);
V. V. RUDNEVA², Higher Doctorate (Tech); S. G. Galevskiy³, PhD (Econ)
(¹ ООО “Sibproekt”, ² FGBOU VO “Sibirskiy Gosudarstvennyi Industrial'nyi Universitet”,
³ FGBOU VO “Sankt-Petersburgskiy Gorniy Universitet”)*

The results of the investigations into the processes of the reducing treatment of the technogeneous micro silica for producing the silicon carbide with the use of the brown coal semicoke have been presented. It has been shown that in the Si–O–C and Si–O–C–H systems selected for thermodynamic analysis the process of

the carbide formation is dominant. The conditions and indicators of the chemical concentration of the products of carburizing have been established.

Key words: technogeneous micro silica, brown coal semicoke, silicon carbide, products of carburizing.

УДК 621.745.55

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ ПОСЛЕ ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

*Д. А. БОЛДЫРЕВ, д-р техн. наук, проф., Denis.Boldyrev@vaz.ru;
Л. И. ПОПОВА, канд. физ.-мат. наук
(ФГБОУ ВО "Тольяттинский государственный университет")*

Приведены результаты исследования влияния выдержки расплава не модифицированного (исходного) и модифицированного ФС75; РЗМ и совместно комплексом РЗМ + ФС75 чугуна при температуре 1300, 1450 и 1600 °С в течение 20, 55 и 90 мин на структуру и свойства чугуна в жидком состоянии и после кристаллизации.

Ключевые слова: литейное производство; модифицирование чугуна; термовременная обработка чугуна; структура и свойства чугуна в жидком состоянии и после кристаллизации.

THE STRUCTURES AND PROPERTIES OF THE INOCULATED CAST IRONS AFTER THE TEMPERATURE – TIME PROCESSING

*D. A. BOLDYREV, Higher Doctorate (Tech), Professor;
L. I. POPOVA, PhD (Physical and Mathematical)
(FGBOU VO "Tol'yattinskiy Gosudarstvennyi Universitet")*

The results of the investigations into the influence of holding the melt of the non-inoculated (initial) and inoculated cast irons on their structures and properties in the liquid states and after the solidification have been presented. The cast irons have been processed with the FS75 ferrosilicon, rare-earth metals and jointly with the rare-earth metals + FS75 complex at the temperatures of 1300, 1450, and 1600 °C within the 20, 55, and 90 minutes.

Key words: foundry practice, cast iron inoculation, cast iron temperature – time processing, cast iron structure and properties in liquid state and after solidification.

УДК 622.271; 622.68

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

*Л. И. АНДРЕЕВА¹, д-р техн. наук, tehnoem74@list.ru; Ю. Ю. УШАКОВ², канд. техн. наук
(¹ Челябинский филиал ФГБУН "Институт горного дела Уральского отделения РАН", ² ООО НИИОГР)*

Представлены результаты оценки эффективности эксплуатации карьерных автосамосвалов, предложен методический подход к оценке эффективности системы их технического обслуживания и ремонта. Установлена зависимость удельного грузооборота от коэффициента дефектности узлов и агрегатов карьерных автосамосвалов.

Ключевые слова: горнодобывающие предприятия; карьерный автосамосвал; коэффициент дефектности; система технического обслуживания и ремонта; эффективность эксплуатации; организация ремонта; техническая готовность; стратегия ремонта.

THE APPROACH TO THE EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE SYSTEM FOR THE MAINTENANCE AND REPAIR OF THE OPEN-PIT DUMP TRUCKS

L. I. ANDREEVA¹, Higher Doctorate (Tech), tehmorem74@list.ru; Yu. Yu. USHAKOV², PhD (Tech)
(¹ Chelyabinsk branch of the Mining Art Institute of the Ural Department of the Russian Academy of Sciences,
² OOO NIOGR)

The results of the evaluation of the efficiency of the open-pit dump trucks operating have been presented. The methodological approach to the evaluation of the efficiency of the system for their maintenance and repair has been proposed. The dependence of the specific cargo turn-over on the factors of the defectiveness of the open-pit dump truck assemblies and plants has been established.

Key words: mining enterprises, open-pit dump truck, factors of defectiveness, maintenance and repair system, operational efficiency, repair organization, technical availability, repair strategy.

УДК 621.365.413

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С УЧЕТОМ ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА

A. O. ГАНУЛ¹, В. И. ДОЖДИКОВ¹, д-р техн. наук, проф., Д. С. МОРДОВКИН², канд. техн наук
(¹ ФГБОУ ВО “Липецкий государственный технический университет”,
² ПАО “Новолипецкий металлургический комбинат”)

Приведено описание алгоритма расчета нагрева металла с учетом подогрева воздуха в рекуператоре, установленном за методической печью. Представлены результаты сравнительного анализа фактических и расчетных параметров подогреваемого воздуха, идущего на горение. Обоснована целесообразность применения разработанной математической модели рекуператора.

Ключевые слова: методическая нагревательная печь; математическая модель нагрева металла; подогрев воздуха в рекуператоре; температура подогрева воздуха.

THE MATHEMATICAL MODEL OF HEATING THE METAL IN THE CONTINUOUS FURNACE TAKING INTO ACCOUNT THE PRELIMINARY AIR HEATING

A. O. GANUL¹, V. I. DOZHDIKOV¹, Higher Doctorate (Tech), Professor; D. S. MORDOVKIN², PhD (Tech)
(¹ FGBOU VO “Lipetskiy Gosudarstvennyi Tekhnicheskiy Universitet”,
² PAO “Novolipetskiy Metallurgicheskiy Kombinat”)

The description of the algorithm of calculating the metal heating taking into account the preliminary air heating in the recuperator installed after the continuous furnace has been presented. The results of the comparative analysis of the real and calculated parameters of the preliminary heated air flowing for the combustion have been described. The advisability of the application of the developed mathematical model of the recuperator has been grounded.

Key words: continuous reheating furnace, mathematical metal heating model, preliminary air heating in recuperator, preliminary air heating temperature.

СТАТИСТИКА*

ОСНОВНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

Показатель	Октябрь 2017 г.	В % к		Январь– октябрь 2017 г. в % к январю– октябрю 2016 г.	Справочно		
		октябрю 2016 г.	сентябрю 2017 г.		октябрь 2016 г. в % к		январь– октябрь 2016 г. в % к январю– октябрю 2015 г.
					октябрю 2015 г.	сентябрю 2016 г.	
Валовой внутренний продукт, млрд руб.		101,6 ^{1, 2)}			99,6 ³⁾		
Индекс выпуска товаров и услуг по базовым видам экономической деятельности		100,5	96,2	102,0	100,7	98,1	100,5
Индекс промышленного производства ⁴⁾		100,0	105,7	101,6	101,6	106,6	101,2
Продукция сельского хозяйства, млрд руб.	733,8	97,5	64,7	102,9	104,3	72,0	104,6
Грузооборот транспорта, млрд т·км	486,9	106,4	107,5	106,7	99,5	104,1	101,5
в том числе железнодорожного транспорта	215,0	105,9	105,5	106,5	102,0	104,0	101,6
Объем услуг в сфере телекоммуникаций, млрд руб.	138,4	96,1	97,4	98,5			
Оборот розничной торговли, млрд руб.	2585,4	103,0	100,2	100,8	95,7	100,3	95,5
Объем платных услуг населению, млрд руб.	751,3	100,3	100,7	100,2	99,2	100,5	99,5
Внешнеторговый оборот, млрд долл.	51,1 ⁵⁾	117,9 ⁶⁾	99,5 ⁷⁾	125,3 ⁸⁾	100,3 ⁶⁾	104,2 ⁷⁾	83,4 ⁸⁾
В том числе:							
экспорт товаров	30,6	120,7	105,8	125,7	96,4	109,9	76,5
импорт товаров	20,4	113,9	91,4	124,7	106,6	97,1	95,9
Инвестиции в основной капитал, млрд руб.	9681,7 ⁹⁾	104,2 ²⁾			99,4 ³⁾		
Индекс потребительских цен		102,7	100,2	103,9	106,1	100,4	107,4
Индекс цен производителей промышленных товаров ⁴⁾		107,6	101,2	107,5	102,8	100,4	104,0
Реальные располагаемые денежные доходы ¹⁰⁾		98,7	99,8	98,7	94,0	100,8	94,4
Среднемесячная начисленная заработная плата работников организаций:							
номинальная, руб.	38275 ¹⁰⁾	107,1 ¹⁰⁾	100,5 ¹⁰⁾	107,0 ¹⁰⁾	106,5	99,8	107,7
реальная		104,3 ¹⁰⁾	100,3 ¹⁰⁾	103,0 ¹⁰⁾	100,4	99,4	100,3
Общая численность безработных (в возрасте 15–72 лет), млн чел.	3,9	94,1	101,1	93,3	96,4	102,1	100,9
Численность официально зарегистрированных безработных (по данным Роструда), млн чел.	0,7	84,9	96,6	85,1	91,5	96,7	100,6
1) Предварительная оценка.							
2) Январь–сентябрь 2017 г. в % к январю–сентябрю 2016 г.							
3) Январь–сентябрь 2016 г. в % к январю–сентябрю 2015 г.							
4) По видам деятельности "Добыча полезных ископаемых", "Обработывающие производства", "Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха", "Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений" ОКВЭД2.							
5) Данные за сентябрь 2017 г.							
6) Сентябрь 2017 г. и сентябрь 2016 г. в % к соответствующему периоду предыдущего года, в фактически действовавших ценах.							
7) Сентябрь 2017 г. и сентябрь 2016 г. в % к предыдущему месяцу, в фактически действовавших ценах.							
8) Январь–сентябрь 2017 г. и январь–сентябрь 2016 г. в % к соответствующему периоду предыдущего года, в фактически действовавших ценах.							
9) Данные за январь–сентябрь 2017 г.							
10) Оценка.							

*Использованы данные Федеральной службы государственной статистики РФ, ОАО "Черметинформация".

**ОБОРОТ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
в действующих ценах**

Подотрасль, продукция	Октябрь 2017 г., млрд руб.	В % к		Январь–октябрь 2017 г. в % к январю–октябрю 2016 г.
		октябрю 2016 г.	сентябрю 2017 г.	
Всего	13804,7	105,7	99,6	109,0
Добыча полезных ископаемых	1195,5	113,0	102,9	117,3
В том числе:				
добыча угля	116,0	120,1	104,2	146,5
добыча сырой нефти и природного газа	793,7	113,6	106,1	116,8
добыча металлических руд	98,4	114,6	96,4	110,5
добыча прочих полезных ископаемых	47,0	83,9	96,6	89,3
Обрабатывающие производства	3532,4	107,1	98,8	108,8
В том числе:				
производство пищевых продуктов	443,6	96,3	103,6	100,1
производство напитков	63,2	96,6	93,2	95,2
производство табачных изделий	19,4	59,9	88,6	85,3
производство текстильных изделий	18,0	104,9	103,9	100,4
производство одежды	19,5	103,2	101,5	109,8
производство кожи и изделий из кожи	6,0	96,4	93,9	108,2
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	48,8	110,9	105,8	101,6
производство бумаги и бумажных изделий	81,6	98,7	101,5	95,5
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	19,7	100,5	98,4	100,8
производство кокса и нефтепродуктов	888,5	113,7	102,1	116,5
производство химических веществ и химических продуктов	200,3	106,0	99,1	101,9
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	37,7	97,2	75,0	114,2
производство резиновых и пластмассовых изделий	84,6	102,7	99,0	102,0
производство прочей неметаллической минеральной продукции	123,7	104,6	93,8	105,3
производство металлургическое	465,9	114,8	101,5	109,7
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	194,7	102,8	90,9	105,3
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	115,4	94,9	93,3	105,9
производство электрического оборудования	94,8	107,3	99,7	106,8
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	115,2	100,3	99,9	108,2
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	228,1	128,0	108,0	129,7
производство прочих транспортных средств и оборудования	160,4	107,3	82,2	120,1
производство мебели	19,9	106,4	101,1	103,4
производство прочих готовых изделий	15,6	96,1	94,7	97,8
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	760,0	105,5	119,6	108,1
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	97,2	119,8	101,4	116,1
Строительство	615,0	97,7	90,3	104,2

ДИНАМИКА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОТРАСЛЯХ

Подотрасль, продукция	Октябрь 2017 г.	В % к		Январь–октябрь 2017 г. в % к январю–октябрю 2016 г.
		октябрю 2016 г.	сентябрю 2017 г.	
Электроэнергия, млрд кВт·ч	94,0	99,0	112,3	100,9
Пар и горячая вода, млн Гкал	110	96,0	194,7	102,5
Нефтедобывающая				
Нефть сырая, включая газовый конденсат, млн т	46,5	97,9	104,5	100,2
Нефтеперерабатывающая				
Нефть, поступившая на переработку (первичная переработка нефти), млн т	23,4	97,0	102,9	100,1
Бензин автомобильный, млн т	3,1	99,0	97,5	98,0
Дизельное топливо, млн т	6,0	96,3	99,9	101,5
Топочный мазут, млн т	4,1	88,9	114,5	92,2
Газовая				
Газ горючий природный (газ естественный), млрд м ³	55,1	102,2	115,8	112,0
Газ нефтяной попутный (газ горючий природный нефтяных месторождений), млрд м ³	7,7	104,1	114,7	101,9
Угольная				
Уголь, млн т	36,5	108,9	105,0	107,2
В том числе:				
каменный	29,3	107,3	103,2	107,7
бурый рядовой (лигнит)	7,3	116,0	112,8	105,2
Уголь каменный и бурый обогащенный, млн т	10,7	100,6	105,6	101,1

ОБЪЕМ ПОГРУЗКИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ¹⁾, млн т

Продукция	Октябрь 2016 г.	Январь– октябрь 2016 г.	Декабрь 2016 г.	Январь– декабрь 2016 г.	Октябрь 2017 г.	Январь– октябрь 2017 г.
Грузы, всего	103785,5	1018837,0	105561,5	1226951,1	108541,0	1049792,3
В том числе:						
каменный уголь	28191,2	270502,2	31318,1	331124,7	31536,4	296844,9
кокс	995,4	9742,7	1003,1	11711,4	895,0	9327,1
нефть и нефтепродукты	19439,3	194456,4	21561,7	236180,8	19197,7	194599,1
руда железная и марганцевая	8973,3	91545,9	9069,9	109537,0	8946,6	91333,9
руды цветных металлов и серное сырье	1830,2	17909,6	1613,2	21081,1	1706,5	17001,1
черные металлы	5728,4	58566,9	6353,8	71013,8	6234,9	59720,4
лом черных металлов	1570,7	12579,0	1216,1	15028,4	1600,4	13064,2
химические и минеральные удобрения	4463,4	43819,3	4994,0	53471,5	4800,9	47265,3
строительные грузы	12022,8	123428,8	8479,0	141339,2	11610,7	113683,8
цемент	2305,0	23667,3	1286,1	26657,1	2413,1	23628,5
лесные грузы	3050,2	35219,7	3709,8	42220,9	3248,2	36652,5
зерно и продукты						
перемола	2147,2	16968,4	2337,3	21611,9	2697,3	19160,0
комбикорма	92,8	816,7	92,3	998,5	76,0	839,5
импортные грузы	767,9	7040,8	729,3	8418,5	857,5	8170,2
рыба	30,9	268,3	54,6	361,3	29,6	268,3
прочие грузы	12176,8	112301,5	11743,2	136195,0	12690,2	118233,5

1) По данным ОАО РЖД.

ТОВАРНЫЙ СОСТАВ ЭКСПОРТА

Продукция	Сентябрь 2017 г.	В % к		Январь– сентябрь 2017 г. в % к январю– сентябрю 2016 г.	Справочно		
		сентябрю 2016 г.	августу 2017 г.		сентябрь 2016 г. в % к		январь– сентябрь 2016 г. в % к январю– сентябрю 2015 г.
					сентябрю 2015 г.	августу 2016 г.	
Рыба свежая и мороженая, тыс. т ¹⁾	197,9	90,3	113,2	115,5	164,6	113,2	100,9
Ракообразные и моллюски, тыс. т ¹⁾	11,7	151,3	174,8	142,9	152,4	135,8	110,8
Пшеница и меслин, тыс. т	4186,6	110,3	106,4	117,8	102,9	123,1	132,9
Мука пшеничная или пшенично-ржаная, тыс. т	19,5	70,6	99,0	69,1	113,4	122,0	105,2
Крупа, тыс. т	3,1	125,4	141,3	109,5	79,1	138,7	105,4
Масло подсолнечное, сафлоровое или хлопковое и их фракции, тыс. т	157,2	140,4	120,4	136,2	в 2,8 р.	130,8	116,2
Макаронные изделия, тыс. т	11,2	118,0	130,2	109,7	100,0	99,5	96,4
Кондитерские мучные изделия, тыс. т	17,3	92,5	99,2	97,5	109,7	107,2	104,9
Соль, пригодная для употребления в пищу, тыс. т	5,2	116,0	110,4	103,0	113,2	79,8	124,7
Фосфаты кальция, тыс. т	74,3	22,1	46,5	96,4	188,5	в 2,7 р.	145,4
Руды и концентраты железные, тыс. т	1262,9	93,8	73,8	115,3	66,7	89,5	79,6
Уголь каменный, млн т	18,6	111,8	113,4	108,3	99,3	98,2	109,3
Кокс и полукокс, тыс. т	226,2	137,1	103,1	149,1	71,4	71,1	75,6
Нефть сырая, включая газовый конденсат природный, млн т	20,1	102,2	92,7	100,6	98,6	91,0	105,5
Нефтепродукты, млн т	13,0	87,3	108,8	97,6	106,3	123,1	90,8
Газ природный, млрд м ³	14,2	89,3	93,7	107,4	114,1	110,3	106,1
Электроэнергия, млрд кВт·ч	2,0	118,9	110,1	101,1	115,3	93,4	93,7
Аммиак безводный, тыс. т	323,9	56,0	в 2,0 р.	75,7	в 4,1 р.	в 3,7 р.	116,9
Углеводороды ациклические, тыс. т	150,1	120,9	59,9	79,2	46,3	66,6	84,8
Удобрения, тыс. т	2938,2	92,2	109,3	103,9	98,6	144,8	97,1
Каучук синтетический, тыс. т	85,8	117,0	112,3	103,2	106,9	102,0	102,4
Шины пневматические резиновые, тыс. шт.	2509,2	90,2	95,7	93,9	121,4	103,9	128,1
Лесоматериалы необработанные, млн м ³	1,4	85,3	77,5	95,6	96,4	98,9	108,2
Лесоматериалы обработанные, млн т	1,5	108,1	95,1	111,3	114,8	95,0	115,0
Фанера клееная, тыс. м ³	187,8	96,9	94,7	98,8	109,8	93,6	112,9
Целлюлоза древесная, тыс. т	186,1	104,0	104,5	97,8	108,4	94,8	103,9
Бумага газетная, тыс. т	96,1	114,6	97,7	107,8	101,3	106,7	96,1
Ткани хлопчатобумажные, млн м ²	5,7	74,3	86,8	88,1	101,7	103,4	112,9
Черные металлы (кроме чугуна, ферросплавов, отходов и лома), млн долл.	1097,2	123,6	105,2	135,2	114,9	98,7	86,7
Чугун переделный, тыс. т	676,0	179,8	в 4,9 р.	89,6	67,0	74,7	98,2
Ферросплавы, тыс. т	60,3	86,9	128,5	97,2	98,2	80,6	103,2
Трубы из черных металлов, тыс. т	180,6	177,8	103,8	174,0	90,1	93,4	87,2
Медь рафинированная, тыс. т	49,3	101,5	84,2	108,8	78,2	103,9	95,0
Проволока медная, тыс. т	11,5	89,5	83,8	103,1	73,5	81,1	69,5
Никель необработанный, тыс. т	9,3	60,6	75,4	69,9	44,9	87,7	95,1
Алюминий необработанный, тыс. т	249,9	98,1	72,2	87,7	107,7	78,8	99,4
Машины, оборудование и транспортные средства, млн долл.	3070,3	166,4	140,9	116,6	94,3	108,4	88,5

1) Включая выловленные (добытые) и проданные вне зоны действия таможенного контроля.

ИНДЕКСЫ ЦЕН И ТАРИФОВ НА КОНЕЦ ПЕРИОДА, %

Индекс	К предыдущему месяцу			Октябрь 2017 г. к		Январь– октябрь 2017 г. в % к январю– октябрю 2016 г.	Справочно октябрь 2016 г. к декабрю 2015 г.
	август 2017 г.	сентябрь 2017 г.	октябрь 2017 г.	декабрю 2016 г.	октябрю 2016 г.		
Индекс потребительских цен	99,5	99,9	100,2	101,9	102,7	103,9	104,5
Индекс цен производителей промышленных товаров ¹⁾	101,5	102,4	101,2	106,1	107,6	107,5	106,0 ²⁾
Индекс цен производителей сельскохозяйственной продукции	99,2	99,6	99,7	92,1	94,3	98,7	99,4
Сводный индекс цен на продукцию (затраты, услуги) инвестиционного назначения	100,8	100,0	100,2	103,2	102,9	102,6	103,5
Индекс тарифов на грузовые перевозки	100,0	100,1	94,2	107,9	108,2	106,4	105,4

1) На товары, предназначенные для реализации на внутреннем рынке.
2) В целях обеспечения сопоставимости ранее опубликованные данные за периоды 2016 г. пересчитаны в соответствии с группировками ОКВЭД2.

**ИНДЕКСЫ ЦЕН ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПО ОТДЕЛЬНЫМ ОТРАСЛЯМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
НА КОНЕЦ ПЕРИОДА, %**

Отрасль	К предыдущему месяцу			Октябрь 2017 г. к		Январь– октябрь 2017 г. в % к январю– октябрю 2016 г.	Справочно октябрь 2016 г. к декабрю 2015 г.
	август 2017 г.	сентябрь 2017 г.	октябрь 2017 г.	декабрю 2016 г.	октябрю 2016 г.		
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	103,5	102,3	100,8	107,1	107,4	105,5	104,4
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	104,7	100,0	100,0	110,0	110,0	109,4	109,1
Добыча полезных ископаемых	103,2	106,5	100,9	114,7	114,0	114,5	109,2
Производство кокса и нефтепродуктов	101,7	103,4	103,2	114,1	120,8	116,3	102,3
Производство металлургическое	102,8 ¹⁾	105,9	104,4	107,7	111,7	109,2	115,3
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	99,6	100,6	101,3	104,1	105,2	106,1	107,0
Производство химических веществ и химических продуктов	100,9	101,5	101,4	103,3	103,3	99,7	97,1
Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	98,1	99,0	100,0	101,8	102,2	108,0	109,0

1) Данные изменены за счет уточнения респондентами ранее предоставленной информации.

**САЛЬДИРОВАННЫЙ ФИНАНСОВЫЙ РЕЗУЛЬТАТ (ПРИБЫЛЬ МИНУС УБЫТОК)
ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЯНВАРЕ–СЕНТЯБРЕ 2017 г.**

<i>Отрасль</i>	<i>Сальдо прибылей (+) и убытков (-), млрд руб.</i>	<i>В % к январю–сентябрю 2016 г.¹⁾</i>
Всего	+7385,8	91,2
Добыча полезных ископаемых	+1890,3	119,6
В том числе:		
добыча угля	+227,1	в 2,6 р.
добыча сырой нефти и природного газа	+1165,4	138,8
добыча металлических руд	+263,3	81,9
добыча прочих полезных ископаемых	+126,5	60,3
Обрабатывающие производства	+2122,1	89,9
В том числе:		
производство пищевых продуктов	+164,3	93,4
производство напитков	+49,2	97,8
производство табачных изделий	+21,0	61,7
производство текстильных изделий	+5,1	60,7
производство одежды	+8,9	96,4
производство кожи и изделий из кожи	+1,9	101,6
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	+4,5	10,4
производство бумаги и бумажных изделий	+61,8	71,2
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	+7,9	117,7
производство кокса и нефтепродуктов	+556,2	161,4
производство химических веществ и химических продуктов	+245,4	62,4
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	+38,4	101,3
производство резиновых и пластмассовых изделий	+28,8	93,8
производство прочих неметаллической минеральной продукции	+41,9	80,0
производство металлургическое	+568,3	73,3
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	+72,2	70,6
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	+68,6	110,7
производство электрического оборудования	+31,1	104,2
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	+27,6	54,6
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	+40,2	
производство прочих транспортных средств и оборудования	+52,8	93,5
производство мебели	+3,2	99,9
производство прочих готовых изделий	+0,4	12,9
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	+415,1	99,8
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	+13,1	172,3
Строительство	+27,3	33,6

1) Темпы изменения сальдированного финансового результата отчетного периода по сравнению с соответствующим периодом предыдущего года рассчитаны по сопоставимому кругу организаций; с учетом корректировки данных соответствующего периода предыдущего года, исходя из изменений учетной политики, законодательных актов и др. в соответствии с методологией бухгалтерского учета. Прочерк означает, что в одном или обоих сопоставляемых периодах был получен отрицательный сальдированный финансовый результат.

**ПРИБЫЛЬ И УБЫТОК ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ЯНВАРЕ–СЕНТЯБРЕ 2017 г.**

<i>Отрасль</i>	<i>Сумма прибыли, млрд руб.</i>	<i>Доля прибыльных организаций в общем числе организаций, %</i>	<i>Сумма убытка, млрд руб.</i>	<i>Доля убыточных организаций в общем числе организаций, %</i>
Всего	8680,5	71,0	1294,7	29,0
Добыча полезных ископаемых	1969,5	70,3	79,2	29,7
В том числе:				
добыча угля	241,9	73,3	14,8	26,7
добыча сырой нефти и природного газа	1201,3	74,6	35,9	25,4
добыча металлических руд	277,8	66,7	14,5	33,3
добыча прочих полезных ископаемых	129,7	64,3	3,2	35,7
Обрабатывающие производства	2440,9	74,2	318,8	25,8
В том числе:				
производство пищевых продуктов	194,6	81,4	30,3	18,6
производство напитков	53,1	74,6	3,9	25,4
производство табачных изделий	21,0	92,3	0,0	7,7
производство текстильных изделий	7,1	70,5	2,0	29,5
производство одежды	9,3	77,0	0,4	23,0
производство кожи и изделий из кожи	2,8	74,3	0,9	25,7
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	23,4	60,8	18,9	39,2
производство бумаги и бумажных изделий	65,8	79,7	4,0	20,3
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	9,1	65,1	1,2	34,9
производство кокса и нефтепродуктов	565,8	80,0	9,6	20,0
производство химических веществ и химических продуктов	271,2	80,2	25,8	19,8
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	43,9	78,9	5,5	21,1
производство резиновых и пластмассовых изделий	35,0	81,4	6,2	18,6
производство прочей неметаллической минеральной продукции	70,5	59,2	28,6	40,8
производство металлургическое	599,4	68,1	31,1	31,9
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	93,4	73,0	21,2	27,0
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	78,7	78,1	10,1	21,9
производство электрического оборудования	39,1	79,8	8,0	20,2
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	60,3	73,1	32,7	26,9
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	64,5	69,3	24,3	30,7
производство прочих транспортных средств и оборудования	96,1	66,4	43,3	33,6
производство мебели	3,9	80,8	0,7	19,2
производство прочих готовых изделий	3,5	75,8	3,1	24,2
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	508,2	47,8	93,1	52,2
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	28,0	53,8	14,9	46,2
Строительство	159,8	72,8	132,5	27,2

**НАЧИСЛЕННАЯ СРЕДНЕМЕСЯЧНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА
В РАСЧЕТЕ НА ОДНОГО РАБОТНИКА (без выплат социального характера)¹⁾**

Отрасль	Сентябрь 2017 г.			Январь–сентябрь 2017 г.		
	руб.	в % к		руб.	в % к	
		сентябрю 2016 г.	августу 2017 г.		январю– сентябрю 2016 г.	общерос- сийскому уровню средне- месячной заработ- ной платы
Всего	38083	107,5	102,7	38005	107,0	100
Добыча полезных ископаемых	75243	107,3	102,4	72587	108,0	191
В том числе:						
добыча угля	50495	108,2	88,8	51199	108,3	135
добыча сырой нефти и природного газа	109118	103,0	109,9	103295	106,1	в 2,7 р.
добыча металлических руд	65367	115,9	116,3	56096	109,8	148
Обрабатывающие производства	37536	107,3	98,4	37814	108,6	99
В том числе:						
производство пищевых продуктов	30232	109,0	99,4	29617	108,5	78
производство напитков	37180	103,8	98,5	37779	104,1	99
производство табачных изделий	84814	112,0	96,7	96484	106,0	в 2,5 р.
производство текстильных изделий	22138	106,5	96,6	21630	110,7	57
производство одежды	19668	106,1	98,5	19264	110,9	51
производство кожи и изделий из кожи	20992	105,7	99,6	20702	108,3	54
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	25357	104,5	98,4	25579	106,2	67
производство бумаги и бумажных изделий	38368	105,9	101,1	39278	106,6	103
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	33450	118,6	103,2	31830	111,6	84
производство кокса и нефтепродуктов	78941	110,0	93,3	94935	109,9	в 2,5 р.
производство химических веществ и химических продуктов	43811	105,0	95,9	45396	107,4	119
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	51417	111,6	100,7	53878	111,3	142
производство резиновых и пластмассовых изделий	29930	104,9	98,1	29719	110,7	78
производство прочей неметаллической минеральной продукции	31169	106,5	95,9	30686	108,1	81
производство металлургическое	46802	107,0	97,9	48456	107,8	127
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	36041	108,4	97,4	35597	109,1	94
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	45142	105,2	99,0	44596	109,9	117
производство электрического оборудования	35001	108,1	99,6	33977	109,0	89
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	36807	107,4	99,0	36229	108,8	95
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	38318	110,4	106,0	37034	111,0	97
производство прочих транспортных средств и оборудования	43364	105,9	98,4	43738	108,9	115
производство мебели	21689	106,2	97,0	21543	111,2	57
производство прочих готовых изделий	28461	105,8	99,4	29251	108,0	77
ремонт и монтаж машин и оборудования	43235	106,3	97,9	43652	106,2	115
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	42089	106,3	95,2	43893	106,5	115
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	28405	106,4	98,2	28533	106,7	75
Строительство	34818	108,2	98,1	33886	108,0	89

¹⁾ Начиная с отчетных данных за январь 2017 г., информация публикуется по основным ("хозяйственным") видам экономической деятельности в соответствии с группировками ОКВЭД2.

**ЧИСЛО ЗАМЕЩЕННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ОРГАНИЗАЦИЯХ ПО ОТРАСЛЯМ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СЕНТЯБРЕ 2017 г. (без субъектов малого предпринимательства)¹⁾**

Отрасль	Всего замещенных рабочих мест, тысяч	В том числе работниками		
		списочного состава (без внешних совместителей)	внешними совмести- телями	выполнявшими работы по договорам гражданско- правового характера
Всего	33119,2	31792,3	545,2	781,7
Добыча полезных ископаемых	946,6	938,7	1,9	6,0
В том числе:				
добыча угля	150,6	149,0	0,3	1,3
добыча сырой нефти и природного газа	277,7	276,5	0,3	0,9
добыча металлических руд	172,9	171,2	0,4	1,3
Обрабатывающие производства	5267,4	5195,1	28,2	44,1
В том числе:				
производство пищевых продуктов	728,4	717,2	3,9	7,2
производство напитков	103,2	100,7	0,5	2,0
производство табачных изделий	6,6	6,6	0,0	0,0
производство текстильных изделий	50,7	49,9	0,3	0,4
производство одежды	52,2	51,5	0,4	0,3
производство кожи и изделий из кожи	26,2	26,0	0,1	0,1
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	108,0	106,0	0,5	1,5
производство бумаги и бумажных изделий	90,4	89,4	0,3	0,8
деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	36,4	34,7	0,5	1,1
производство кокса и нефтепродуктов	130,6	129,9	0,3	0,4
производство химических веществ и химических продуктов	309,6	305,9	1,3	2,4
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	74,1	70,4	0,6	3,2
производство резиновых и пластмассовых изделий	131,4	129,6	0,9	0,9
производство прочей неметаллической минеральной продукции	307,3	302,6	1,8	3,0
производство металлургическое	527,6	524,6	1,2	1,8
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	465,7	459,8	2,4	3,4
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	385,4	376,6	4,3	4,5
производство электрического оборудования	201,5	198,3	1,4	1,8
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	330,0	325,0	2,2	2,9
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	257,6	255,8	0,8	1,1
производство прочих транспортных средств и оборудования	616,0	611,8	2,0	2,2
производство мебели	51,1	50,6	0,3	0,2
производство прочих готовых изделий	30,8	30,2	0,2	0,4
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	1341,5	1319,6	6,8	15,0
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	431,2	420,5	3,4	7,4
Строительство	1017,9	983,9	10,0	23,9

1) Начиная с отчетных данных за январь 2017 г., информация публикуется по основным ("хозяйственным") видам экономической деятельности в соответствии с группировками ОКВЭД2.

Подготовлено В.В. Смильтиной

ПРОИЗВОДСТВО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА ПО РЕГИОНАМ В ЯНВАРЕ–ОКТЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–октябрь 2016 г.	Январь–октябрь 2017 г.	Изменение январь–октябрь 2017 г. к январю–октябрю 2016 г., %
ЕС-28	76182	78162	2,6
Прочие страны Европы	10132	10488	3,5
СНГ	73502	62386	-15,1
Северная Америка	27702	27748	0,2
Южная Америка	24150	26118	8,1
Африка (только ЮАР)	3633	3592	-1,1
Ближний и Средний Восток (только Иран)	1961	1939	-1,1
Азия	758843	774687	2,1
Австралия и Океания	3558	3626	1,9
МИР, всего*	979664	988747	0,9

* Итого приведен по 39 странам, на которые приходится около 99 % мирового производства чугуна.

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА ПО СТРАНАМ В ЯНВАРЕ–ОКТЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–октябрь 2016 г.	Январь–октябрь 2017 г.	Изменение январь–октябрь 2017 г. к январю–октябрю 2016 г., %	Рейтинг
Австралия	3011	3058	1,6	26
Австрия	4664	5290	13,4	13
Аргентина	1806	1796	-0,5	28
Бельгия	4075	4008	-1,7	19
Босния и Герцеговина	648	589	-9,2	31
Бразилия	21547	23575	9,4	7
Великобритания	5185	5019	-3,2	16
Венгрия	683	1083	58,6	29
Германия	22948	23697	3,3	6
Индия	52733	54642	3,6	3
Иран	1961	1939	-1,1	27
Испания	3640	3727	2,4	20
Италия	5031	4252	-15,5	18
Казахстан	2681	3129	16,7	24
Канада	5215	5183	-0,6	14
Китай	587998	602965	2,5	1
Колумбия	186	160	-14,0	34
Мексика	3670	3546	-3,4	22
Нидерланды	5124	5143	0,4	15
Новая Зеландия	547	568	3,9	32
Парагвай	44	32	-27,5	35
Польша	3817	4302	12,7	17
Россия	51055	43136	-15,5	4
Сербия	900	1068	18,7	30
Словакия	3354	3414	1,8	23
США	18817	19019	1,1	8
Тайвань	12456	12456	0	10
Турция	8584	8831	2,9	12
Украина	19766	16121	-18,4	9
Франция	8035	8969	11,6	11
Чехия	3474	3079	-11,4	25
Чили	568	554	-2,3	33
ЮАР	3633	3592	-1,1	21
Южная Корея	38420	39296	2,3	5
Япония	67236	65327	-2,8	2

МИРОВАЯ ВЫПЛАВКА СТАЛИ ПО РЕГИОНАМ МИРА В ЯНВАРЕ–ОКТЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–октябрь 2016 г.	Январь–октябрь 2017 г.	Изменение январь–октябрь 2017 г. к январю–октябрю 2016 г., %
ЕС-28	135704	140765	3,7
Прочие страны Европы	29642	33563	13,2
СНГ	84904	85243	0,4
Северная Америка	92694	96459	4,1
Южная Америка	33714	36206	7,4
Африка	9693	11083	14,3
Страны Среднего Востока	23979	27166	13,3
Азия	920324	975165	6,0
Австралия и Океания	4811	4879	1,4
МИР, всего*	1335465	1410527	5,6

** Итого приведен по 66 странам, входящим в Международный институт чугуна и стали, на которые приходится около 98 % мирового производства стали.*

МИРОВАЯ ВЫПЛАВКА СТАЛИ ПО СТРАНАМ В ЯНВАРЕ–ОКТЯБРЕ 2016–2017 гг., тыс. т

Регион	Январь–октябрь 2016 г.	Январь–октябрь 2017 г.	Изменение январь–октябрь 2017 г. к январю–октябрю 2016 г., %	Рейтинг
Австралия	4353	4338	-0,3	26
Австрия	6155	6801	10,5	20
Аргентина	3454	3789	9,7	33
Белоруссия	1835	2073	13,0	38
Бельгия	6430	6452	0,3	21
Болгария	425	548	28,7	48
Босния и Герцеговина	669	611	-8,7	46
Бразилия	26279	28513	8,5	9
Великобритания	6496	6314	-2,8	22
Венгрия	1029	1566	52,2	40
Венесуэла	418	304	-27,1	55
Вьетнам	4197	7924	88,8	19
Гватемала	263	242	-8,0	56
Германия	35518	36476	2,7	7
Греция	958	1040	8,6	43
Египет	4072	5516	35,5	24
Индия	79073	84123	6,4	3
Иран	14804	17901	20,9	13
Испания	11584	11820	2,0	16
Италия	19481	20075	3,1	10
Казахстан	3517	3799	8,0	32
Канада	10646	10934	2,7	17
Катар	2134	2238	4,9	37
Китай	668459	709500	6,1	1
Колумбия	1071	1075	0,4	42
Куба	202	179	-11,6	58
Ливия	396	319	-19,5	54
Люксембург	1849	1830	-1,1	39
Македония	136	229	68,1	57
Мексика	15648	16657	6,4	14
Молдова	83	333	рост в 4 р.	53
Нидерланды	5815	5679	-2,3	23
Новая Зеландия	458	542	18,1	50
Норвегия	509	498	-2,2	51
ОАЭ	2521	2737	8,5	36
Пакистан	2876	4146	44,2	28
Парагвай	29	23	-21,7	61
Перу	963	1019	5,8	44
Польша	7382	8645	17,1	18
Россия	58643	60428	3,0	5

Регион	Январь–октябрь 2016 г.	Январь–октябрь 2017 г.	Изменение январь–октябрь 2017 г. к январю–октябрю 2016 г., %	Рейтинг
Сальвадор	84	82	-1,9	59
Саудовская Аравия	4520	4290	-5,1	27
Сербия	915	1177	28,6	41
Словакия	4034	4140	2,6	29
Словения	525	542	3,2	49
США	65815	68364	3,9	4
Таиланд	3193	3703	16,0	34
Тайвань	18069	19383	7,3	11
Турция	27413	31048	13,3	8
Узбекистан	565	562	-0,5	47
Украина	20261	18048	-10,9	12
Уругвай	50	46	-7,5	60
Финляндия	3458	3446	-0,3	35
Франция	11956	13093	9,5	15
Чехия	4437	3830	-13,7	31
Чили	969	970	0,1	45
Швеция	3851	3899	1,2	30
Эквадор	481	467	-2,8	52
ЮАР	5225	5247	0,4	25
Южная Корея	57015	59148	3,7	6
Япония	87442	87239	-0,2	2

Раздел подготовлен по материалам WSA.

**ПРОИЗВОДСТВО ОСНОВНЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ
В ОТДЕЛЬНЫХ ПОДОТРАСЛЯХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В РОССИИ
В ЯНВАРЕ–ОКТЯБРЕ 2017 г.**

**ПРОИЗВОДСТВО СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
В ОТДЕЛЬНЫХ ПОДОТРАСЛЯХ**

Подотрасль, продукция	Октябрь 2017 г.	В % к		Январь–октябрь 2017 г. в % к январю–октябрю 2016 г.
		октябрю 2016 г.	сентябрю 2017 г.	
Добыча металлических руд				
Концентрат железорудный, млн т	8,0	94,4	102,8	94,0
Производство электроферросплавов				
Ферросилиций, тыс. т	70	91,9	93,7	89,2
Производство кокса				
Кокс и полукокс из каменного угля, млн т	2,3	98,2	101,0	96,4
Производство огнеупоров				
Кирпичи, блоки, плитки и прочие изделия огнеупорные, кроме изделий из кремнеземистой каменной муки или диатомитовых земель, тыс. т	95,2	102,4	91,2	114,0
Цементы огнеупорные, строительные растворы, бетоны и аналогичные составы, не включенные в другие группировки, тыс. т	149	164,6	89,9	148,5
Изделия огнеупорные безобжиговые и прочие огнеупорные керамические изделия, тыс. т	62,2	140,4	144,0	107,7

ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА, СТАЛИ И ГОТОВОГО ПРОКАТА

Подотрасль, продукция	Октябрь 2017 г.	В % к		Январь–октябрь 2017 г. в % к январю–октябрю 2016 г.
		октябрю 2016 г.	сентябрю 2017 г.	
Чугун зеркальный и передельный в чушках, болванках или в прочих первичных формах, млн т	4,3	103,9	101,3	100,2
Сталь нелегированная в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из нелегированной стали, млн т	4,4	95,3	98,9	101,1
Сталь нержавеющая в слитках или прочих первичных формах и полуфабрикаты из нержавеющей стали, тыс. т	14,5	94,9	107,4	98,6
Сталь легированная прочая в слитках или в прочих первичных формах и полуфабрикаты из прочей легированной стали, млн т	1,1	98,3	98,6	103,1
Прокат готовый, млн т	5,2	103,0	102,4	101,6

ПРОИЗВОДСТВО СТАЛЬНЫХ ТРУБ ПО ВИДАМ

Подотрасль, продукция	Октябрь 2017 г.	В % к		Январь–октябрь 2017 г. в % к январю–октябрю 2016 г.
		октябрю 2016 г.	сентябрю 2017 г.	
Трубы стальные для нефте- и газопроводов бесшовные, тыс. т	44	88,4	74,7	97,1
Трубы обсадные, насосно-компрессорные трубы и бурильные трубы, используемые для бурения нефтяных или газовых скважин, бесшовные стальные, тыс. т	135	99,8	93,9	109,2
В том числе:				
обсадные бесшовные стальные	89	111,9	90,4	122,6
насосно-компрессорные бесшовные стальные	43	82,3	100,5	92,3
бурильные для бурения нефтяных и газовых скважин бесшовные стальные	3	85,6	118,7	78,6
Трубы круглого сечения прочие стальные, тыс. т	236	122,4	106,1	114,5

ПРОИЗВОДСТВО НЕКОТОРЫХ ВИДОВ МЕТИЗНОЙ ПРОДУКЦИИ

Подотрасль, продукция	Октябрь 2017 г.	В % к		Январь–октябрь 2017 г. в % к январю–октябрю 2016 г.
		октябрю 2016 г.	сентябрю 2017 г.	
Производство метизов				
Проволока холоднотянутая из нелегированной стали, тыс. т	108	90,8	85,5	100,3
Проволока холоднотянутая из нержавеющей стали, т	762	71,0	83,8	60,7
Проволока холоднотянутая из прочей легированной стали, тыс. т	18	99,1	99,4	115,3

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ, ОАО "Черметинформация".

Подготовлено Н.Г. Зиновьевой