

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 400-летию города Новокузнецка

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2017»

15 – 16 ноября 2017 г.

Труды
XX Международной научно-практической конференции
Часть 2

Новокузнецк
2017

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор М.В. Темлянец, д.т.н., профессор А.В. Феоктистов,
д.т.н., профессор Г.В. Галевский, д.ф.-м.н., профессор В.Е. Громов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., профессор Н.А. Козырев,
к.т.н., профессор С.Г. Коротков, к.т.н., доцент С.В. Фейлер

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – 474 с., ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии производства, обработки и сварки металлов, энергоресурсосбережения, рециклинга и экологии в металлургии.

Конференция проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-08-20433.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Кемеровской области
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
АО «Русал Новокузнецк»
АО «Кузнецкие ферросплавы»
ОАО «Черметинформация»
Издательство Сибирского отделения РАН
Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»
Журнал «Вестник СибГИУ»
Журнал «IOP conference series: materials science and engineering»
ОАО «Кузбасский технопарк»
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2017

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НОВОГО НЕПРЕРЫВНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СЭР

Рыбенко И.А., Цымбал В.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, rybenkoi@mail.ru*

Аннотация: В работе проведен сравнительный анализ экспериментальных данных, полученных на крупномасштабной опытной установке, и результатов моделирования и оптимизации в системе «Инжиниринг-Металлургия» для различных вариантов технологий в агрегате струйно-эмульсионного типа.

Ключевые слова: струйно-эмульсионный процесс и агрегат, моделирование, оптимизация, инструментальная система, эксперимент, адекватность.

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE ADEQUACY OF MATHEMATICAL MODELS OF A NEW CONTINUOUS METALLURGICAL PROCESS

Rybenko I.A., Tsymbal V.P.

*Siberian State industrial University
Novokuznetsk, Russia, rybenkoi@mail.ru*

Abstract: In the work of the comparative analysis of experimental data from large-scale pilot plant, and the results of simulation and optimization in Engineering-metallurgy various technology options in aggregate Jet-emulsion type.

Keywords: jet-emulsion process and aggregate, modeling, optimization, instrumental system, experiment, adequacy.

Металлургия является одной из самых ресурсоемких отраслей промышленности. В настоящее время самой распространенной является многоступенчатая схема получения металла, включающая аглодоменное и сталеплавильное производства. Необходимость снижения энергоемкости и материалоемкости металлургической продукции требует совершенствования традиционных схем производства чугуна и стали и создания новых металлургических процессов и агрегатов, направленных на прямое получение металлов. За последние 10 лет в мире построено или находится в стадии разработки более 100 установок прямого восстановления, использующих самые различные принципы реализации. Перспективным в этом направлении является разработка струйно-эмульсионных процессов и агрегатов, для которых характерны большие поверхности раздела фаз и высокие скорости физико-химических взаимодействий. К таким процессам относится непрерывный металлургический процесс струйно-эмульсионного типа (СЭР), разработанный коллективами кафедры информационных технологий в металлургии (в настоящее время кафедра прикладных информационных технологий и программирования) и Западно-Сибирского металлургического комбината (АО «ЕвразЗСМК») под руководством доктора технических наук, профессора Цымбала В.П. [1 – 3]. В основу процесса положена идея реализации принципов синергетики и неравновесной термодинамики, которая позволила создать теоретические основы и универсальную конструкцию агрегата, в котором возможно осуществление различных технологий [4–5].

Опытная установка агрегата СЭР была создана в ККЦ-2 ЗСМК и предназначалась для отладки разрабатываемых технологий. Основным ее технологическим оборудованием являются технологический агрегат, включающий реактор струйного типа и рафинирующий отстойник эмульсионного типа, система подачи шихты, система подачи технологических газов, система управления, система автоматизированного эксперимента и вспомогательные системы, состоящие из системы охлаждения корпуса агрегата и отвода продуктов. Общий вид опытной установки приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид опытной установки СЭР

На опытной установке было проведено 40 серий экспериментов, результатами которых были подтверждены преимущества процесса и агрегата струйно-эмульсионного типа: высокие скорости тепломассообменных процессов (в $100 \div 200$ раз выше, чем в конвертере); малые размеры и материалоемкость агрегатов (в $10 \div 20$ раз меньше, чем в традиционной металлургии); низкие сквозные энергозатраты ($15 \div 18$ ГДж/т); высокая экологичность и безотходность технологий; управляемость, универсальность и мобильность, возможность реализации различных вариантов технологий [6].

Для разработки, исследования и оптимизации этих технологий с использованием средств MS Excel и Delphi была создана инструментальная система «Инжиниринг-Металлургия», в которой программно реализовано математическое описание взаимосвязи потоков и параметров процессов с использованием комплекса математических детерминированных моделей, основанных на первом и втором законах термодинамики [7–8].

Инструментальная система «Инжиниринг-Металлургия» позволила реализовать многовариантные расчеты, повести исследования и решить взаимосвязанные оптимизационные задачи по определению наилучших условий протекания процессов при отладке технологий на опытной установке. С помощью системы рассчитывались управляющие воздействия для каждого эксперимента, в результате которых были реализованы следующие варианты технологий: получение металла из чугуна и окалины, прямое получение металла из пылевидных руд и отходов, переработка титано-магнетового концентрата с получением кондиционного титанистого шлака, получение марганцевых сплавов из бедных пылевидных марганцевых руд [9–10].

Первые 5 серий автоматизированных экспериментов были направлены на получение стали из чугуна с использованием газообразного кислорода. Последующие эксперименты после конструктивных изменений в системе подачи шихты в первый реактор проводились без использования чугуна. Было проведено 6 серий экспериментов по освоению технологии прямого восстановления пылевидных материалов, в качестве которых использовались: марганцевый концентрат, марганцевый концентрат – окалина, окалина.

В следующей серии экспериментов основное внимание было уделено отработке технологии прямого восстановления железа из смеси шлама и окалины. При этом в качестве главной задачи был поставлен расчетный и экспериментальный выбор рациональных соотношений рудной части шихты и восстановителей. Эти эксперименты позволили получить определенный опыт управления процессом и определить наиболее рациональное соотношение 1:1 конвертерного шлама и окалины для рудной части при подаче пластифицированной шихты, что подтвердило правильность результатов расчета с использованием инструментальной системы.

Также были успешно проведены эксперименты по переработке титано-магнетитовых концентратов с получением кондиционного титанистого шлака.

Одной из важных задач проведения экспериментов являлась проверка адекватности программно реализованных математических моделей. В таблице 1 приведены результаты проведения экспериментов на опытной установке по отладке технологий прямого получения металла из железорудных материалов, в том числе и с использованием марганцевого и титаномагнетитового концентратов.

Таблица 1 – Результаты проведения экспериментов № 16 – 36 на опытной установке

Вид материала	Соотноше материалов на 6 кг шихты																			
	№16	№17	№18	№19	№20	№21	№22	№23	№24	№26	№27	№28	№29	№30	№31	№32	№33	№34	№35	№36
Окалина	3.80	3.76	3.80	3.10	3.80	3.89	1.87	2.64	1.77	1.92	1.71	1.62	1.83	1.92	1.88	1.82	0.68	0.75	0.71	1.85
Шлам	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.86	1	1.76	1.94	1.71	1.62	1.84	1.92	1.88	2.01	0.68	0.75	0.71	1.85
Кокс	0.45	0.45	0.45	0.40	0.45	0.50	0.51	0.52	0.81	0.52	0.43	0.52	0.48	0.48	0.47	0.47	0.72	0.76	0.79	0.58
Известь	0.48	0.47	0.43	0.39	0.48	0.40	0.36	0.39	0.34	0.40	0.43	0.41	0.47	0.48	0.47	0.45	0.27	0.28	0.28	0.46
Отработка	0.91	0.97	0.91	1.04	0.91	0.89	1.15	1.06	1.08	0.94	1.46	1.59	1.11	0.87	1.02	0.94	0.95	0.99	0.97	0.97
Ферросилиций	0.28	0.27	0.27	0.28	0.28	0.25	0.19	0.23	0.18	0.21	0.20	0.19	0.21	0.22	0.22	0.24	0.09	0.09	0.09	0.21
Алюминий	0.09	0.08	0.09	0.12	0.09	0.08	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.09	0.09	0.09	0.07
Mn концентрат	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti концентрат	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.26	2.29	2.36	0.00
Расход, кг/с	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	5.95	6.00	6.00	6.00
Шлам+окалина	3.80	3.76	3.80	3.10	3.80	3.89	3.73	3.74	3.53	3.86	3.43	3.25	3.67	3.83	3.75	3.84	1.35	1.49	1.42	3.70
Кокс+отработка	1.36	1.42	1.36	1.44	1.36	1.39	1.66	1.58	1.89	1.46	1.89	2.11	1.59	1.35	1.49	1.42	1.67	1.75	1.76	1.55

Параметры	Расход материалов во время эксперимента																			
	№16	№17	№18	№19	№20	№21	№22	№23	№24	№26	№27	№28	№29	№30	№31	№32	№33	№34	№35	№36
Время эксперимента, с	390	720	660	1470	600	900	750	1260	480	240	110	432	822	480	450	420	330	600	300	450
Общий расход, кг/с	2125	2875	4000	7525	2875	6375	3360	6740	2310	1910	345	1516	2767	2855	2386	2500	2286	2530	2173	2836
Расход, кг/с	5.45	4.00	6.06	5.12	4.79	7.08	4.48	5.35	4.81	7.96	3.14	3.51	3.37	5.95	5.30	5.95	6.93	4.22	7.24	6.30
Материалы																				
Окалина	3.45	2.39	3.84	2.65	3.03	4.59	1.40	2.35	1.42	2.54	0.90	0.95	1.03	1.90	1.66	1.81	0.82	0.78	0.85	1.94
Шлам	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39	0.98	1.41	2.57	0.90	0.95	1.03	1.90	1.66	2.00	0.82	0.78	0.85	1.94
Кокс	0.41	0.28	0.45	0.34	0.36	0.60	0.38	0.46	0.65	0.69	0.22	0.30	0.27	0.48	0.42	0.47	0.87	0.80	0.96	0.61
Известь	0.43	0.30	0.48	0.33	0.38	0.47	0.27	0.34	0.28	0.53	0.22	0.24	0.26	0.48	0.42	0.44	0.33	0.30	0.34	0.49
Отработка	0.83	0.62	0.92	0.89	0.73	1.05	0.86	0.94	0.87	1.24	0.76	0.93	0.62	0.86	0.90	0.94	1.15	1.04	1.17	1.02
Ферросилиций	0.25	0.17	0.28	0.24	0.22	0.29	0.14	0.20	0.14	0.28	0.10	0.11	0.12	0.22	0.19	0.24	0.11	0.10	0.11	0.22
Алюминий	0.08	0.05	0.09	0.10	0.07	0.09	0.05	0.06	0.05	0.09	0.03	0.03	0.04	0.07	0.06	0.06	0.11	0.10	0.11	0.07
Mn концентрат	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti концентрат	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.73	2.40	2.85	0.00
Расход шихты (б/отр.), кг/с	4.62	3.20	5.14	4.23	4.07	6.03	3.62	4.41	3.95	6.71	2.37	2.58	2.75	5.04	4.40	5.01	5.78	5.26	6.07	5.28
Кислород																				
O ₂ в реактор, м³/с	0.72	0.76	0.75	0.72	0.78	0.74	0.68	0.82	0.94	0.78	0.83	1.25	1.11	1.25	1.03	1.08	1.06	1.06	1.06	1.11
O ₂ в ковш, м³/с	0.28	0.125	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.17	0.25	0.20	0.16	0.16	0.13	0.18	0.19	0.16	0.17	0.19	0.15	0.15
Общий расход O ₂ , м³/с	1.00	0.89	0.95	0.92	0.98	0.94	0.87	0.99	1.19	0.98	0.99	1.41	1.24	1.43	1.22	1.24	1.22	1.25	1.21	1.26
Соотношение парам.																				
Шлам+окалина	3.45	2.39	3.84	2.65	3.03	4.59	2.79	3.33	2.83	5.11	1.79	1.90	2.06	3.80	3.32	3.81	1.64	1.57	1.71	3.89
Кокс+отработка	1.24	0.90	1.38	1.23	1.09	1.64	1.24	1.41	1.52	1.93	0.99	1.23	0.89	1.34	1.32	1.40	2.02	1.84	2.13	1.63
Материалы/(кокс+отр.)	2.79	2.66	2.79	2.15	2.79	2.79	2.25	2.37	1.86	2.64	1.82	1.54	2.31	2.84	2.52	2.71	0.81	0.85	0.80	2.38
O ₂ /(шлам+окалина)	0.29	0.37	0.25	0.35	0.32	0.20	0.31	0.30	0.42	0.19	0.55	0.74	0.60	0.38	0.37	0.33	0.75	0.80	0.71	0.33
O ₂ /(кокс+отработка)	0.81	0.99	0.69	0.75	0.90	0.57	0.71	0.70	0.79	0.51	1.01	1.14	1.40	1.07	0.92	0.88	0.61	0.68	0.57	0.77
Результаты экспер.																				
Металл, кг	50		20		100				183	180	Пробы не брали	100	300	30	320	100	220	400	270	
Шлак, кг	450	1500	100	200	400	1000	2400	4000	1000	1450		1100	1500	800	1400	1500	2060	2000	1650	
[C], %	0.218		0.69		0.44				1.57	<0,01		0.04	1.72	0.03	0.06	0.62	1.42	0.79	1.51	
Металл+шлак/шлам+ок.	0.37	0.87	0.05	0.05	0.27	0.24	1.15	0.95	0.87	1.33		1.46	1.06	0.46	1.15	1.00	4.22	2.56	3.74	0.00
FeO	17.90	30.15	28.35	8.05	37.84	36.31	43.03	35.53	9.46	37.60		25.00	6.56		18.70	39.80		15.47	41.5	
Fe ₂ O ₃	9.15	5.86	18.45	32.71	8.36	9.87	8.95	12.65	9.76	8.90			2.83		4.64			6.73	6.27	
Fe ₂ O ₅												27.50		35.90			42		36.6	
CaO	4.40	5.26	9.95	10.73	6.74	3.72	9.98	7.75		14.00		20.00	11.20	18.00	12.30	23.80	9.9	4.8	3.7	
SiO ₂	23.92	22.11	15.73	20.12	20.50	22.98	14.39	20.84		23.40		20.30	37.80	24.90	29.50	19.10	16.1	23.5	13.5	
Al ₂ O ₃	20.40	14.10	11.74	9.94	12.03	16.78	8.37	17.17		8.40		11.56	28.00	17.90	21.90	13.40	18.6	27.6	21	
MnO	2.35	2.86	2.26	6.47	1.00	1.17	1.58	0.80		1.70		2.27	0.25	0.50	0.70	2.30	0.6	3.1		
TiO ₂																	10.2	14.8	11.2	
время стационара																				
Q _{O2} ¹	6'	12'	6'30"	13'30"	6'30"	9'	6'	11'	5'30"	3'15"		6'30"	6'	6'	3'	5'	4'	7'	3'30"	4'
ΣQ _{O2} ¹	2500	2700	287	585	2800	2750	2400	3250	3800	3200		4700	4500	4800	4000	4000	3800	4100	3500	3800
Q _{O2} ²	250	540	2650	2600	303	413	240	296	336	173		509	450	480	200	333	253	478	204	253
ΣQ _{O2} ²	1000	400					900		800	800		560	550	680	670	600	550	750	650	450
ΣQ _{O2} ²	100	80					90		73	43		61	55	68	33.5	50	37	87.5	38	30
Q _ш	6.4	4	4.2	5.1	6.8	6.7	3.4	5.8	4.8	7.3		3.3	4.7	5.8	5.3	5.1	6	3.6	7.2	6.2
ΣQ _ш	2300	2875	1625	4125	2250	3600	1217	3800	1600	1433		1291	1699	2097	950	1533	1430	1495	1521	1478

Таблица 2 – Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных

№ п/п	№ экс п.	Ме- талло- шихта	Расход, кг/с (м³/с)			Дан- ные	Состав металла, %						Состав шлака, %							
			Чу- гун	Ших- та	Кисл- д		С	Mn	Si	P	S	Al	FeO	Fe₂O₃	MnO	CaO	SiO₂	Al₂O₃	MgO	P₂O₅
1	3	чугун+ окали- на	20	4	1,78	факт.	1,03	0,03	0,03	0,13	0,045	-	28,0	5,4	6,7	15,0	11,9	21,0	10,0	1,7
						расч.	1,15	0,05	0,02	0,023	0,018	-	25,00	5,85	6,49	16,26	12,48	20,8	12,11	1,01
2	7	Мп конц.	-	6,5	1,06	факт.	1,6	20,0	20,4	-	-	3,5	11,8	2,5	30,0	-	38,0	-	-	-
						расч.	1,43	21,13	22,2	0,021	0,02	-	11,85	2,91	31,43	22,45	30,19	1,13	0,02	0,01
3	8	Мп конц.	-	5,06	0,67	факт.	0,11	25,9	33,5	-	-	0,94	2,6	-	42,0	-	27,5	13,0	-	-
						расч.	0,51	29,1	34,5	0,018	0,019	-	1,19	-	38,92	24,21	23,71	11,95	0,01	0,01
4	10	Мп конц.+ окали- на	-	5,9	0,92	факт.	0,30	9,00	6,50	-	-	8,0	4,5	1,51	24,5	4,3	25,0	12,2	-	-
						расч.	0,55	11,44	7,98	0,019	0,021	-	3,98	1,18	25,43	31,55	24,78	12,93	0,09	0,06
5	11	Мп конц.	-	3,4	0,78	факт.	2,57	9,60	5,8	-	-	2,7	12,0	-	27,0	3,8	18,8	12,0	22,2	-
						расч.	2,21	10,11	6,19	0,023	0,021	-	12,8	-	23,65	13,9	17,6	13,15	18,89	0,01
6	12	окали- на	-	4,5	0,97	факт.	0,55	0,03	0,01	0,013	0,01	-	38,0	-	9,0	5,4	25,8	10,3	9,6	0,03
						расч.	1,00	0,10	0,06	0,015	0,013	-	31,0	-	8,41	16,19	24,64	9,29	10,33	0,14
7	13	Мп шихта	-	4,5	0,89	факт.	0,56	3,53	7,5	0,070	0,023	-	6,76	3,63	11,25	7,8	25,5	28,76	11,33	1,12
						расч.	0,40	4,19	8,3	0,029	0,021	-	5,34	4,17	12,03	14,14	24,29	26,98	12,01	1,04
8	16	окали- на	-	5,45	0,72	факт.	0,22	6,91	15,37	0,085	-	-	17,9	9,15	2,35	4,4	23,92	20,4	19,63	1,92
						расч.	0,58	7,44	18,53	0,025	0,024	-	16,89	10,12	3,47	5,23	24,16	19,77	19,35	1,01
9	18	окали- на	-	6,06	0,75	факт.	0,69	0,26	0,3	0,1	-	-	28,35	18,45	2,26	9,95	15,73	11,74	8,19	5,7
						расч.	1,03	0,31	0,34	0,026	0,022	-	27,13	17,24	2,15	10,01	16,26	12,14	9,04	6,03
10	20	окали- на	-	5,4	0,78	факт.	0,44	0,02	0,06	0,03	-	-	37,84	8,36	1,00	6,74	20,5	12,03	9,45	4,67
						расч.	0,77	0,031	0,076	0,023	0,022	-	33,15	7,24	2,03	10,86	19,6	11,99	10,02	5,11
11	24	окали- на +шлам	-	4,8	0,81	факт.	1,57	0,025	0,12	-	-	0,01	19,46	9,76	-	-	-	-	-	-
						расч.	1,19	0,031	0,14	0,02	0,021	-	20,12	10,43	1,98	22,53	18,9	11,3	9,73	5,01

По результатам наиболее показательных экспериментов проведен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных (таблица 2). Оценка адекватности моделей проводилась по относительной ошибке, которая определялась как отношение среднеквадратичного отклонения фактического содержания углерода и марганца в металле и FeO в шлаке и рассчитанного по модели к среднему значению содержания углерода, марганца и FeO. Результаты расчетов показали, что относительные ошибки по содержанию углерода, марганца и FeO в металле равны 15,5, 21,1 и 18,4 %, что соответствует отклонению от реальных значений по концентрации углерода 0,13 %, марганца – 0,14 %, FeO – 3,44 %, что можно считать достаточно приемлемых в условиях отладки вариантов технологий при наличии большого количества помех, технических и технологических ограничений.

Библиографический список

1. Процесс и агрегат типа самоорганизующийся струйно-эмульсионный реактор как пример наукоемкой технологии в металлургии [текст] / В. П. Цымбал, С. П. Мочалов, В. И. Кожемяченко, И. А. Рыбенко // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2005. – № 6. – С. 60 – 65.
2. Процесс СЭР – металлургический струйно-эмульсионный реактор : монография [текст] / В. П. Цымбал, С. П. Мочалов, И. А. Рыбенко [и др.]. – М. : Металлургиздат, 2014. – 488 с.
3. A new jet-emulsion metallurgical process [text] / V. P. Tsymbal // Steel in Translation, 2015. - Vol. 45, Issue 8, – PP. 550 – 554.
4. Использование принципов самоорганизации и диссипативных структур при создании нового струйно-эмульсионного металлургического процесса [текст] / В. П. Цымбал, В. И. Кожемяченко, И. А. Рыбенко [и др.] // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2015. - Т. 58, № 8. – С. 572 – 577.
5. Предпосылки и принципы создания самоорганизующегося струйно-эмульсионного реактора [текст] / В. П. Цымбал, В. И. Кожемяченко, И. А. Рыбенко [и др.] // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: тр. IV всерос. науч.-практ. конф. с межд. участием. В 2 ч. Ч. I. ; под общ. ред. В. П. Цымбалы, Т. В. Киселевой. – Новокузнецк : Изд. СибГИУ, 2016. – С. 27 – 36.
6. Экспериментальная проверка новых технологий получения металла на крупномасштабной опытной установке [текст] / Р. С. Айзатулов, В. П. Цымбал, С. П. Мочалов [и др.] // Современные проблемы и пути развития металлургии: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Новокузнецк, 16-19 сентября 1997 г. – Новокузнецк, 1997. – С. 107 – 108.
7. Разработка методики и программного обеспечения для расчета оптимального состава шихтовых материалов различных вариантов технологий непрерывного металлургического процесса струйно-эмульсионного типа [текст] / С. П. Мочалов, В. П. Цымбал, И. А. Рыбенко [и др.] // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1996. - № 12. – С. 4 – 8.
8. Рыбенко, И. А. Моделирование и оптимизация стационарных режимов металлургических процессов [текст] : монография / И. А. Рыбенко, С. П. Мочалов; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2015. – 168 с.
9. Рыбенко, И. А. Оптимизация технологий в струйно-эмульсионном металлургическом агрегате с использованием методики и инструментальной системы моделирования [текст] / И. А. Рыбенко // Бюл. Черная металлургия. – 2017. - № 3. – С. 60 – 65.
10. Рыбенко, И. А. Применение методики и инструментальной системы расчета металлургических процессов для разработки теоретических основ ресурсосберегающих технологий [текст]: монография / И. А. Рыбенко ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – 187 с.

УДК 669.184

ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАФИНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА АРГОНОМ

Лубяной Д.А.¹, Толстикова Ю.А.², Черепанов А.Г.³

¹ООО «Завод Гидромаш»

²НФмКЕМГУ

³ОАО «Евраз-ЗСМК»

г.Новокузнецк, Россия, lubjanoy@yandex.ru

Аннотация: В статье рассмотрено физическое и математическое моделирование рафинирования металла аргонem. Установлено, что физическое моделирование дает хорошую качественную картину процессов продувки аргонem. Математическое моделирование позволяет количественно рассчитать параметры продувки аргонem и азотом.

ГАЗОФАЗНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ХРОМОРУДНОГО СЫРЬЯ.....	90
Заякин О.В., Жучков В.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА	92
Гилева Л.Ю., Мясоедов С.В., Загайнов С.А., Титов В.Н. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НОВОГО НЕПРЕРЫВНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СЭР	97
Рыбенко И.А., Цымбал В.П. ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАФИНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА АРГОНОМ	101
Лубяной Д.А., Толстикова Ю.А., Черепанов А.Г. МЕТОД И ИНСТРУМЕНТ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ И СОЗДАНИИ НОВЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	107
Рыбенко И.А. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ В ХОДЕ КАМЕРНОГО ВАКУУМИРОВАНИЯ СТАЛИ	113
Сафонов В.М., Еланский Д.Г., Кислица В.В., Мурысев В.А., Мороз Д.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРОСИЛИЦИДОВЫХ ПЕЧЕЙ И ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	116
Кашлев И.М.	

СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА 124

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ.....	124
Громов В.Е., Белов Е.Г., Коновалов С.В., Комиссарова И.А., Иванов Ю.Ф. КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ БОРА И АЗОТА НА ОБРАТИМУЮ ОТПУСКНУЮ ХРУПКОСТЬ.....	128
Мазничевский А.Н., Сприкут Р.В., Заславский А.Я., Гойхенберг Ю.Н. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЛИБРОВАННЫХ ПРУТКОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 6082	134
Сидельников С.Б., Берсенов А.С., Загиров Н.Н., Беспалов В.Н. РЕЖИМ СТАРЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ ПОРШНЯ ИЗ СПЛАВА ТИПА АК21	140
Прудников А.Н., Прудников В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ В ЗОНЕ КОНТАКТА НИКЕЛЯ И АЛЮМИНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ	144
Анфилофьев В. В., Шелепова С. Ю., Туякбаев Б. Т., Джес А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХОЛОДНОКАТАНЫХ, ОТОЖЖЕННЫХ И СВАРНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ОПЫТНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-MG, ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ	149
Баранов В.Н., Сидельников С.Б., Фролов В.Ф., Зенкин Е.Ю., Орелкина Т.А., Константинов И.Л., Ворошилов Д.С., Якивчук О.В., Белоконова И.Н. КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛИ 110Г13Л ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ	154
Балановский А.Е., Штайгер М.Г., Кондратьев В.В., Карлина А.И. РАЗРАБОТКА НОВОЙ СИСТЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТЕЙНЕРА В УСТАНОВКЕ КОНФОРМ.....	159
Горохов Ю.В., Губанов И.Ю., Иванов А.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ В ШТАМПЕ С ПОДВИЖНОЙ МАТРИЦЕЙ	165
Евстифеев В.В., Александров А.А., Евстифеев А.В., Ковальчук А.И. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВ КАТАНКИ ИЗ СПЛАВА АВЕ С ПОМОЩЬЮ СОВМЕЩЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ	169
Сидельников С.Б., Лопатина Е.С., Клейменова Ю.Ю., Самчук А.П., Терентьев А.А.	

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ТЕРМООБРАБОТКИ	174
Попова М.В., Малюх М.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СТАЛИ СТЗ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ УПРОЧНЕНИЯ	181
Балановский А.Е., Штайгер М.Г., Кондратьев В.В., Карлина А.И. АКТИВНОСТЬ МАГНИЯ В РАСПЛАВАХ СИСТЕМЫ FE-MG-SI	187
Власов В.Н., Агеев Ю.А. ОСОБЕННОСТИ ЗАТУХАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В СТАЛИ 20ГЛ	191
Каравайцева А.А., Квеглис Л.И., Павлов А.В. РАСЧЕТ СОДЕРЖАНИЯ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ, ВЫДЕЛЯЮЩЕЙСЯ ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ РАСПЛАВА	196
Рафальский И.В., Луцки П.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ГВС МЕТОДОМ ВОЛОЧЕНИЯ ИЗ СПЛАВА БРБ2	200
Сидельников С.Б., Бер В.И., Вагнер А.В., Дударев В.М., Семиряков М.А. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ БОРОАЛИТИРОВАНИЯ НА ТОЛЩИНУ ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ НА СТАЛИ 20	206
Мишигдоржийн У.Л., Улаханов Н.С., Сизов И.Г., Шурыгин Ю.Л., Хараев Ю.П. РАЗРАБОТКА СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ ТРАМВАЙНЫХ РЕЛЬСОВ В НЕПРЕРЫВНОЙ РЕВЕРСИВНОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ	211
Сметанин С.В., Перетягтько В.Н. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ДРЕССИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ	216
Медведева Е.М., Голубчик Э.М., Гулин А.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОКИЛЬНОГО ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	221
Васюхно А.Ю., Черномас В.В. ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОВ В ЖИДКОЙ СРЕДЕ	230
Балановский А.Е., Гречнева М.В., Ву Ван Хун, Штайгер М.Г., Кондратьев В.В., Карлина А.И.	

СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

ОКИСЛЕНИЕ НАНОДИБОРИДА ТИТАНА НА ВОЗДУХЕ	235
Галевский Г.В., Руднева В.В., Ефимова К.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФЛЮС-ДОБАВОК ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ СТАЛИ	241
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Кислов А.И., Свистунов А.Д. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ WO_3 УГЛЕРОДОМ И КРЕМНИЕМ	245
Крюков Р.Е., Козырев Н.А., Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Шурупов В.М. АНТИФРИКЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА БАЗЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С КЕРАМИЧЕСКИМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ	249
Калашников И.Е., Болотова Л.К., Кобелева Л.И., Колмаков А.Г., Катин И.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА КАРБИДА КРЕМНИЯ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ	254
Квашина Т.С., Крутский Ю.Л., Чушенков В.И. ВЛИЯНИЕ ИНГИБИРУЮЩИХ ДОБАВОК ТУГОПЛАВКИХ КАРБИДОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ	257
Крутский Ю.Л., Веселов С.В., Тюрин А.Г., Черкасова Н.Ю., Кузьмин Р.И., Чушенков В.И., Воробьев Р.С., Квашина Т.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФАЗЫ NI_3Al ПРИ СПЕКАНИИ ПОРОШКОВ NI И Al	262
Джес А.В., Носков Ф.М., Квеглис Л.И., Казначеева А.М.	

КЛАСТЕРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В НИКЕЛИДЕ ТИТАНА.....	267
Джес А.В., Носков Ф.М., Квеглис Л.И., Казначеева А.М. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ.....	273
Вотинова Е.Б., Шалимов М.П., Табатчиков А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ СТРУКТУРЫ СИЛУМИНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНЕСЕНИЕМ НА ЕГО ПОВЕРХНОСТЬ ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ $Al-Y_2O_3$ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ.....	277
Осинцев К.А., Бахриева Л.Р., Бутакова К.А., Мусорина Е.В., Коновалов С.В., Загуляев Д.В., Громов В.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ СТРУКТУРЫ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА BT1-0, СФОРМИРОВАННЫХ ПОСЛОЙНЫМ СПЕКАНИЕМ ПОРОШКОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ НАПЛАВЛЕНИЕМ.....	283
Батрагин А.В., Федоров В.В., Клименов В.А., Клопотов А.А., Абзаев Ю.А., Волокитин Г.Г., Курган К.А. ЦИРКУЛЯЦИЯ ЙОДИДОВ ЖЕЛЕЗА И ХРОМА ПРИ ДИФфуЗИОННОМ ХРОМИРОВАНИИ.....	288
Христюк Н.А. Богданов С.П. ПОЛУЧЕНИЕ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЭПФ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	293
Насакина Е.О., Байкин А.С., Конушкин С.В., Сергиенко К.В., Каплан М.А., Федюк И.М., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г., Клименко С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ КАРБИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА КАЧЕСТВО ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ WC-CO.....	295
Чушенков В.И., Крутский Ю.Л., Квашина Т.С. РАШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРУЮЩИХ ФЛЮСОВ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ КРЕМНИЯ.....	300
Иванчик Н.Н., Балановский А.Е., Кондратьев В.В., Сысоев И.А., Карлина А.И. ВЛИЯНИЯ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА $Al + 2,18\% Fe$ В НЕЙТРАЛЬНОЙ СРЕДЕ.....	305
Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Амонов И.Т., Эсанов Н.Р. ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАЗОВОГО ИЗМЕНЕНИЯ СПЛАВА И РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НА НАПРЯЖЕНИЕ И СВОЙСТВА СЛОЯ ПОКРЫТИЯ.....	311
Шувень Сюй, Сичжан Чен ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СИЛУМИНА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИДОМ ИТТРИЯ.....	318
Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Загуляев Д.В., Толкачев О.С., Петрикова Е.А., Коновалов С.В. ФОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ПОРИСТОСТИ ВО ВРЕМЯ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ДВУХФАЗНЫХ ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ DP780.....	321
Хуанг Л., Чэнь С., Коновалов С., Ма Х. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА СПЛАВА И ЕГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НА НАПРЯЖЕНИЕ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ.....	327
Зиу С., Чэнь С. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАРБИДООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМАХ $Ti - C - N - H$, $Ti - O - C - N - H$	334
Гарбузова А.К., Галевский Г.В., Руднева В.В. О КРИСТАЛЛИЗАЦИИ БИНАРНОГО СПЛАВА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ТУГОПЛАВКИМИ НАНОЧАСТИЦАМИ.....	338
Черепанов А.Н., Черепанова В.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СВАРКИ ДЛИННОМЕРНЫХ РЕБРИСТЫХ ТИТАНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ НА АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ УСП-5000.....	344
Григорьев В.В., Бахматов П.В. ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ АЛЮМИНИЕВОГО ТРУБОПРОВОДА НА ПОРООБРАЗОВАНИЕ.....	350
Ващук И.А., Бахматов П.В. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ.....	358
Чинахов Д.А., Солодский С.А., Майорова Е.И., Григорьева Е.Г.	

СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ.....	363
ОБРАЗОВАНИЕ И ВЫБРОСЫ ДИОКСИДА СЕРЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ.....	363
Галевский Г.В., Минцис М.Я. СОКРАЩЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ НА ТЭЦ С ПЕРЕВОДОМ ОТОПЛЕНИЯ КОТЛОВ НА ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО	366
Коротков С.Г., Сазонова Я.Е. К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ УГЛЕЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	369
Прошунин Ю.Е., Школлер М.Б. ЭМИССИЯ ПАУ ИЗ САМООБЖИГАЮЩИХСЯ АНОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ.....	375
Минцис М.Я., Галевский Г.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ГАЗООЧИСТНЫХ УСТАНОВОК ОК РУСАЛ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРОВ С САМООБЖИГАЮЩИМСЯ АНОДОМ.....	377
Григорьев В.Г., Тепикин С.В., Шемет А.Д., Высотский Д.В., Кузаков А.А., Тенигин А.Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ГОРЕЛКЕ СО ВСТРОЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ РЕКУПЕРАТОРОМ.....	383
Стерлигов В.В., Стариков Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИКОМАРГАНЦЕВОГО ШЛАКА	388
Павлович Л.Б., Исмагилов З.Р., Дятлова К.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ КОКСОХИМИИ	394
Полях О.А., Пономарев Н.С., Журавлев А.Д. ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЛОГЕНОСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	398
Гимпелевич И., Мегидов Е., Мишне И., Рам Ш., Шимон Ю. РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКРЕМНЕЗЕМА.....	401
Кондратьев В.В., Колосов А.Д., Горовой В.О., Небогин С.А., Ёлкин К. С., Немаров А.А., Иванов А.А. ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ОКАЛИНЫ ПРОКАТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ	406
Горшкова О. С., Матюхин В. И. СИСТЕМА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА СИЛИКАТНОЙ СТРУИ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ.....	409
Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. УСКОРЕННАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ОТХОДОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ	412
Водолеев А.С., Бердова О.В., Юмашева Н.А. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ	417
Коляда Л.Г., Тарасюк Е.В. ТЕПЛОВАЯ РАБОТА ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭДП.....	421
Корнеев С.В., Трусова И.А. О ТЕХНОЛОГИЯХ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ.....	427
Ёлкин К.С., Ёлкин Д.К., Карлина А.И. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУХОЙ СЕПАРАЦИИ МИКРОКРЕМНЕЗЁМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ	432
Кондратьев В.В., Небогин С.А., Колосов А. Д., Горовой В.О., Немаров А.А., Иванов А.А., Запольских А.С.	432
НАПРАВЛЕНИЯ СОКРАЩЕНИЯ РАСХОДА ФТОРИСТЫХ СОЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ	436
Ржечицкий Э.П., Петровский А.А., Немчинова Н.В., Карлина А.И. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК ПРИМЕНЕНИЕМ УПРУГИХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОЧЛЕНЕНИЯХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР	439
Никитин А.Г., Абрамов А.В.	

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	443
Зими́на Т.И., Ива́нов Н.Н., Захаров С.В., Трошина А.О., Паньков А.М.	
РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА	446
Ершов В.А., Зими́на Т.И., Говорков А.С., Ива́нов Н.А., Захаров С.В., Трошина А.О.	
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ РЕЗАНИЯ НА НОЖНИЦАХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОГНУТОЙ ПОЛОСЫ	449
Никитин А.Г., Демина Е.И.	
СОСТАВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ЧАСТИ ОТРАБОТАНОЙ ФУТЕРОВКИ – ОТХОДА КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ	452
Ржечицкий Э.П., Петровский А.А., Немчинова Н.В.	
ИЗВЛЕЧЕНИЕ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ КАТАЛИЗАТОРОВ В ПЛАЗМЕННЫХ ПЕЧАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ	457
Девятых Е.А., Девятых Т.О., Швыдкий В.С.	
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СИСТЕМ ГАЗООЧИСТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАВОДОВ	461
Ершов В.А., Зими́на Т.И., Колмогорцев И.В., Горовой В.О., Трошина А.О.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЙ РАБОТЫ КАМЕРНОЙ ПЕЧИ БАРАБАННОГО ТИПА.....	464
Черемискина Н.А., Щукина Н.В., Лошкарев Н.Б., Лавров В.В.	

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2017»

Труды XX Международной научно-практической конференции

Часть 2

Под общей редакцией профессора Е.В. Протопопова

Технический редактор	В.Е. Хомичева
Компьютерная верстка	Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 23.10.2017 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 27,6 Уч.-изд. л. 30,0 Тираж 300 экз. Заказ № 521

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ