

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

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	4
КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ: СОСТОЯНИЕ, ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ПРОГНОЗЫ	4
Протопопов Е.В., Кузнецов С.Н., Фейлер С.В., Ганзер Л.А., Калиногорский А.Н. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ	9
Протопопов Е.В., Числавлев В.В., Фейлер С.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАВКИ МАРГАНЦА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО	14
Рожихина И.Д., Нохрина О.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СООТНОШЕНИЯ ЧУГУНА И МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА В ШИХТЕ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ	18
Уманский А.А., Думова Л.В. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ СЫРЬЯ (АПС).....	23
Григорьев В.Г., Тепикин С.В., Кузаков А.А. Пьянкин А.П., Тимкина Е.В., Пинаев А.А. О ГРАФИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ	29
Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАНАДИЯ В СИСТЕМЕ $V_2O_5 - C - Si$	35
Голодова М.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Рыбенко И.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	39
Уманский А.А., Думова Л.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ НА АГРЕГАТЕ «КОВШ-ПЕЧЬ» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	44
Уманский А.А., Козырев Н.А., Бойков Д.В., Думова Л.В. ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МАРГАНЦА В ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ	48
Дмитриенко В.И., Протопопов Е.В., Дмитриенко А.В., Носов Ю.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗБРЫЗГИВАНИЯ ШЛАКА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ.....	51
Синельников В.О., Калиш Д., Шуцки М. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НА УКП ОСНОВНЫХ БОРСОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВ – ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ КОВШЕВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	56
Бабенко А.А., Жучков В.И., Смирнов Л.А., Сычев А.В., Сельменских Н.И., Уполовникова А.Г. НЕРАВНОВЕСНЫЕ ДИССИПАТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ И УПРАВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА В СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ АГРЕГАТЕ	61
Цымбал В.П., Сеченов П.А., Рыбенко И.А., Оленников А.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫСОТЫ ВАННЫ РУДОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ	67
Кравцов К.И. ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АЛЮМИНИЯ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «АЛЮМИНЦИК».....	71
Мартусевич Е.А., Буинцев В.Н. ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА «ИНЖИНИРИНГ МЕТАЛЛУРГИЯ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ШИРОКОГО КРУГА ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ	75
Рыбенко И.А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР МНЛЗ.....	82
Гусев А.А., Царуш К. А., Лицин К.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР И СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ	85
Сеченов П.А., Цымбал В.П.	

Таким образом, с целью создания нормативной базы технико-экономических показателей для ситуационного планирования и прогнозирования работы ПС предложено использовать комплекс взаимосвязанных графических и математических моделей. В статье приводится методика формирования комплекса графических моделей. Необходимо отметить, что разработанные авторами нормативные многовариантные математические модели функционирования ПС применены в системах управления объектами металлургических предприятий и опубликованы в статьях [1–3 и др.]. Графические модели, которые являются основой для создания соответствующих математических моделей ПС, недостаточно освещены. Поэтому в данной статье подробно рассматривается поэтапная процедура построения графических моделей, иллюстрируемая конкретными примерами.

Библиографический список

1. Мусатова А.И., Кулаков С.М. Особенности построения нормативной модели производительности волочильных станов // Научное обозрение – 2014, № 3. – С. 139 – 149.
2. Musatova A.I., Kulakov S.M., Kadykov V.N. Operating Cycles of Automated Production Sysytem. Steel in Translation, volume 41, Number 4, April 2011. – P. 294 – 300.
3. Кулаков С.М., Кадыков В.Н., Мусатова А.И. и др. Алгоритмизация нормирования тактов работы жесткосвязанных производственных систем // Известия ВУЗов. Черная металлургия – № 2003, № 12. – С.43 – 50.
4. Леушен И.О. Моделирование процессов и объектов в металлургии: учебник / И.О. Леушев. – М.: Форум. НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 208 с.
5. Окунев Л.Я. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем: учеб пособие / Л.Я. Окунев. – СПб.: Лань П, 2016. – 464 с.
6. Хрипунов Н.В. Развитие графических моделей управления качеством // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2010, № 5. – С. 144 – 147.
7. Фомина В.В. Изображение технологических процессов методом графических моделей // Образование, наука, производство, сб. научных трудов. – Уфа. 2003. С. 42 – 44.
8. Раков В.С. Диалоговые графические методы и модели многокритериальной оптимизации // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2011, № 9. – С. 37 – 41.
9. Загороднев Д.И. Оптимизация материальных потоков в распределенной системе управления машиностроительного предприятия на основе эвристических алгоритмов / Д.И. Загороднев, Л.А. Санакулова, Л.А. Симокова // Научно-технические ведомости. СПбГПУ. Серия «Наука и образование» – 2010, № 3 (106). – С. 101 – 107.

УДК 669.046.01

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАНАДИЯ В СИСТЕМЕ $V_2O_5 - C - Si$

Голодова М.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Рыбенко И.А.

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

Аннотация: Представлены результаты экспериментального исследования процесса восстановления пентаоксида ванадия углеродом и кремнием, показавшие хорошее соответствие полученных экспериментальных данных с данными, полученными в ходе термодинамического моделирования.

Ключевые слова: ванадий, восстановление ванадия, пентаоксид ванадия, карбид ванадия, силициды ванадия.

EXPERIMENTAL STUDY OF RECOVERY OF VANADIUM IN SISTEM $V_2O_5 - C - Si$

Golodova M.A., Rogihina I.D., Nohrina O.I., Rybenko I.A.

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

Abstract: The results of experimental research of vanadium pentoxide vanadium recovery process carbon and silicon, which showed good compliance with the obtained experimental data with the data ob-

tained during the thermodynamic modeling.

Keywords: *vanadium, recovery of vanadium, vanadium pentoxide, vanadium carbide, vanadium silicide.*

С целью подтверждения результатов термодинамического моделирования, выполненного в работах [1-4] были проведены экспериментальные исследования процессов восстановления ванадия из оксидных материалов путем изотермической выдержки подготовленных проб при температуре 1873 К.

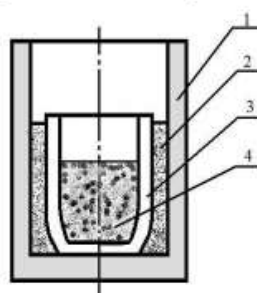
В качестве исходных материалов использовались: пентаоксид ванадия марки ЧДА, графит и кристаллический кремний.

Материалы предварительно измельчались на виброустановке до крупности не более 0,25 мм, взвешивались и тщательно перемешивались.

Подготовленные образцы помещались в алундовые тигли, установленные для предотвращения растрескивания в тигли графитовые, как показано на рисунке 1. Выбор материала тигля был обоснован необходимостью контроля количества углерода в исследуемых образцах.

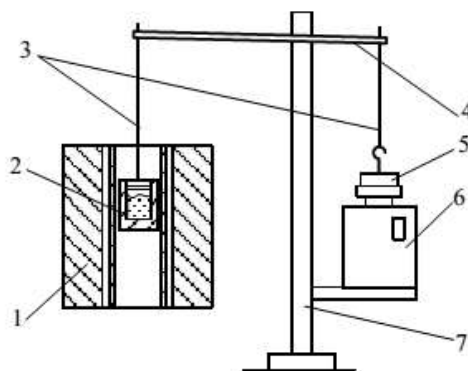
Тигли помещали в предварительно нагретую до температуры 1873 К печь сопротивления с графитовым нагревателем и выдерживали после достижения стабилизации температуры в течение заданного времени. Температура проведения экспериментов контролировалась вольфрам-рениевой термопарой BP5/20.

Для определения продолжительности изотермической выдержки образцов были проведены исследования кинетики процесса восстановления ванадия методом непрерывного взвешивания. Принципиальная схема установки для проведения экспериментов приведена на рисунке 2.



1 - графитовый тигель; 2 – графитовая засыпка; 3 – алундовый тигель; 4 – опытный образец.

Рисунок 1 - Схема подготовленного тигля



1 – электропечь с графитовым нагревателем; 2 – графитовый тигель с шихтой; 3 – подвески;
4 – коромысло; 5 – контргруз; 6 – весы электронные; 7 – опорная стойка

Рисунок 2 – Принципиальная схема установки

Графитовый тигель с установленным в него алундовым тиглем с исследуемым образцом помещали в печь, заранее нагретую до температуры эксперимента. С помощью подвески (графитовой и молибденовой) тигель подвешивался за рабочий конец разноплечного коромысла (соотношение плеч 3:1) таким образом, чтобы он не касался стенок нагревателя. На противоположный конец коромысла подвешивали контргруз, уравнивающий вес тигля с образцом и обеспечивающий определенный ход чашки весов для регистрации изменения веса тигля в процессе опыта.

Убыль массы фиксировалась с интервалом 1 минута. Кинетические кривые, приведенные на рисунке 3, построены по усредненным данным.

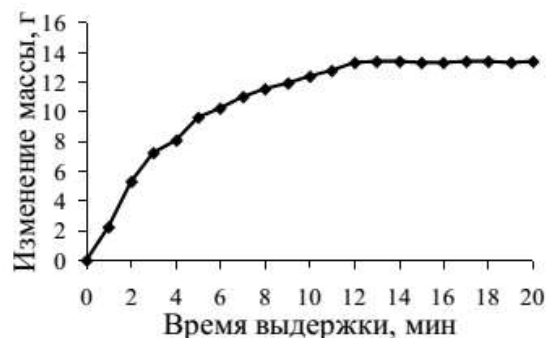


Рисунок 3 –Кинетическая кривая восстановления ванадия из пентаоксида ванадия при температуре 1873K

Из приведенных на рисунке 3 зависимостей следует, что после 15 минут выдержки в печи изменения веса исследуемого образца уже не происходит, т.е. система достигает равновесного состояния. С учетом полученных результатов, время изотермической выдержки было принято равным 20 минутам.

Были проведены три серии экспериментов при различных расходах углерода и кремния и температуре 1873K.

Количество исходных материалов и массы полученных проб представлены в таблице 1.

В экспериментах с использованием в качестве восстановителя одного углерода или совместно углерода и кремния образовывалась пористая хрупкая масса, легко отделяемая от стенок тигля. Цвет образцов изменялся от серого до серо-синего при восстановлении углеродом (рисунок 4), или от светло-коричневого до темно-коричневого при совместном восстановлении углеродом и кремнием (рисунок 5).

При использовании в качестве восстановителя одного кремния наблюдалось спекание содержимого со стенками тигля в результате реакции диоксида кремния, образующегося при восстановлении оксидов ванадия, с материалом тигля с образованием алюмосиликатов (рисунок 6).

После изотермической выдержки образцы охлаждались на воздухе в графитовых тиглях. Содержимое тиглей взвешивалось. Полученные в результате проведенных экспериментов образцы подвергались рентгенофазовому анализу (таблица 2).

Таблица 1 – Количество и состав исходных материалов

Восстанови- тель	Опыт	Масса V ₂ O ₅ , г	Расход восстановителя				Масса пробы, г
			углерод		кремний		
			г	кг/кг V ₂ O ₅	г	кг/кг V ₂ O ₅	
углерод	1-1	10	1,98	0,20	0	0	6,0
	1-2	10	2,64	0,26	0	0	6,3
	1-3	10	3,3	0,33	0	0	6,65
	1-4	10	3,96	0,40	0	0	7,0
	1-5	10	4,62	0,46	0	0	7,3
кремний	2-1	10	0	0	1,54	0,15	5,75
	2-2	10	0	0	3,08	0,31	6,55
	2-3	10	0	0	4,62	0,46	7,3
	2-4	10	0	0	6,16	0,60	8,1
	2-5	10	0	0	7,7	0,77	8,85
	2-6	10	0	0	9,23	0,92	9,6
углерод + кремний	3-1	10	4,62	0,46	1,54	0,15	8,05

Из результатов рентгенофазового анализа следует, что как при восстановлении ванадия одним углеродом, так и совместно углеродом и кремнием, в продуктах реакции присутствует карбид ванадия (V_8C_7). Кроме того, оксид ванадия связан с углеродом в комплекс VC_xO_y . Силициды ванадия представлены соединением Si_3V_5 . Металлический ванадий обнаружен не был.

При восстановлении кремнием и совместно углеродом и кремнием в продуктах реакции рентгенофазовый анализ показал присутствие незначительного количества диоксида кремния (α – кристобалит). В пробах с исходным количеством углерода более 1,3г на 10 г пентаоксида ванадия и кремния более 3,08 г на 10г пентаоксида, в конечном продукте присутствует карбид кремния (β -SiC).

Результаты рентгенофазового анализа указывают на хорошее соответствие полученных экспериментальных результатов с результатами термодинамического моделирования.



Рисунок 4 – Вид образцов после изотермической выдержки пентаоксида ванадия с углеродом



Рисунок 5 – Вид образцов после изотермической выдержки пентаоксида ванадия с углеродом и кремнием



Рисунок 6 – Вид образцов после изотермической выдержки пентаоксида ванадия с кремнием

Таблица 2 - Расчетный состав и результаты рентгенофазового анализа системы $V_2O_5 - C - Si$

Опыт	Расчетный состав образца	Результаты анализа
1-5	C – 1,1; VC – 94,0	преобладает V_8C_7 , небольшое количество графита
2-2	SiO_2 – 43,4; VO – 43,9; V_5Si_3 – 12,7	муллит $3Al_2O_3 \times 2SiO_2$, V_5Si_3 , немного Si
2-6	SiO_2 – 42,5; VO – 0,17; V_5Si_3 – 7,88; VSi_2 – 49,44	Si, VSi_2 , муллит $3Al_2O_3 \times 2SiO_2$, немного $VO_{0,9}$
3-2	SiO_2 – 38,3; VO – 0,4; VC – 48,7; SiC – 4,9; V_5Si_3 – 7,7	V_8C_7 , β - SiC, VC_xO_y , графит, немного α – кристобалита, Si_3V_5
3-4	SiO_2 – 39,6; VO – 0,3; SiC – 11,8; V_5Si_3 – 48,2	β -SiC, V_5Si_3 , VC_xO_y , V_8C_7 , немного α – кристобали- та, графита
3-6	SiO_2 – 30,8; VO – 69,0;	преобладает VC_xO_y

Библиографический список

1. Голодова, М. А. Исследование процессов восстановления элементов в системе V_2O_5-C-Si [Текст] / М. А. Голодова, И. Д. Рожихина, О. И. Нохрина, Н. А. Рыбенко. «Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XIX Международной научно-практической конференции, 15-16 декабря 2015 г.». – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – Ч. 1. – С. 62-66
2. Голодова М.А. Исследование условий и режимов процесса восстановления ванадия в элементарных системах [Текст] / М.А. Голодова, В.И. Дмитриенко, И.Д. Рожихина, И.А. Рыбенко Известия вузов. Черная металлургия. – 2010. – N 4. – С. 7-11
3. Голодова, М.А. Исследование условий процесса восстановления ванадия в системе V-O-C-Fe-Si [Текст] / М.А. Голодова, И.Д. Рожихина, В.И. Дмитриенко, И.А. Рыбенко // «Природные интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБ-РЕСУРС-15-2009) 15-я Международная научно практическая конференция: доклады». Ответственный редактор: В.Н. Масленников. 2009. С. 57-60.
4. Голодова, М.А. Использование методов термодинамического моделирования для описания процессов восстановления элементов из чистых оксидных систем [Текст] / М. А. Голодова, И. Д. Рожихина, О. И. Нохрина, И. А. Рыбенко // «Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 12-15 апреля 2016 г.». – Новокузнецк, 2016. – Ч. 1. – С. 117-121

УДК 669.187.012.7

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Уманский А.А., Думова Л.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, umanskii@bk.ru*

Аннотация: Проведенными в условиях рельсового производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» исследованиями показано, что увеличение содержания меди с 0,07 % до 0,15 % и серы с 0,006 % до 0,015 % в рельсовой электростали марки Э76ХФ оказывает значимое влияние на повышение отбраковки рельсов по дефектам поверхности. Раскрыт механизм отрицательного влияния меди и серы на качество рельсовой стали. Проанализированы и предложены технологические мероприятия по снижению концентрации указанных элементов в рельсовой электростали.

Ключевые слова: рельсовая электросталь, примеси цветных металлов, неметаллические включения, пластичность, металлический лом

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