

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Научно-технический журнал

Издается с января 1958 г. Выпускается 6 раз в год

2023 Том 66 № 6  
Vol. No.

# IZVESTIYA FERROUS METALLURGY

Scientific and Technical Journal

Published since January 1958. Issued 6 times a year

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

www.fermet.misis.ru

ISSN 0368-0797 (Print) ISSN 2410-2091 (Online)

## Варианты названия:

Известия вузов. Черная металлургия

Izvestiya. Ferrous Metallurgy

## Учредители:



## Редакционная коллегия:

**Г. В. Ашихмин**, д.т.н., профессор, ОАО «Ин-т Цветметобработка», г. Москва  
**С. О. Байсанов**, д.т.н., профессор, ХМИ им. Ж.Абишева, г. Караганда, Республика Казахстан  
**В. Д. Белов**, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва  
**А. А. Бродов**, к.экон.н., ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва  
**Е. П. Волынкина**, д.т.н., советник, ОЮЛ «Кузбасская Ассоциация переработчиков отходов», г. Новокузнецк  
**С. М. Горбатюк**, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва  
**К. В. Григорович**, академик РАН, д.т.н., ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва  
**В. Е. Гролов**, д.ф.-м.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк  
**А. Н. Дмитриев**, д.т.н., профессор, академик РАЕН, академик АИН РФ, г. Екатеринбург  
**А. В. Дуб**, д.т.н., профессор, ЗАО «Наука и инновации», г. Москва  
**В. И. Жучков**, д.т.н., профессор, ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург  
**Р. Ф. Зингер**, д.т.н., профессор, Институт Фридриха-Александра, Германия  
**М. Зиниград**, д.т.н., профессор, Институт Ариэля, Израиль  
**В. И. Золотухин**, д.т.н., профессор, ТулГУ, г. Тула  
**А. Г. Колмаков**, д.т.н., чл.-корр. РАН, ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва  
**В. М. Колокольцев**, д.т.н., профессор, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск  
**М. В. Костина**, д.т.н., ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва  
**К. Л. Косырев**, д.т.н., профессор, АО «НПО «ЦНИИТМаш», г. Москва  
**Ю. А. Курганова**, д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
**Х. Линн**, ООО «Линн Хай Терм», Германия  
**В. И. Лысак**, академик РАН, д.т.н., профессор, ВолгГТУ, г. Волгоград

В соответствии п. 5 Правил формирования перечня ВАК журнал «Известия вузов. Черная металлургия» входит в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, публикация в которых учитывается при защитах кандидатских и докторских диссертаций как индексируемый в МБД.

## Главный редактор:

**Леопольд Игоревич Леонтьев**, академик РАН, советник, Президиум РАН; д.т.н., профессор, НИТУ «МИСИС»; главный научный сотрудник, Институт металлургии УрО РАН  
Россия, 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## Заместитель главного редактора:

**Евгений Валентинович Протопопов**, д.т.н., профессор, Сибирский государственный индустриальный университет г. Новокузнецк

## Издатель:

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## Адреса подразделений редакций:

### в Москве

Россия, 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»  
Тел.: +7 (495) 638-44-11 E-mail: ferrous@isis.ru

### в Новокузнецке

Россия, 654007, Новокузнецк,  
Кемеровская обл. – Кузбасс, ул. Кирова, зд. 42  
Сибирский государственный индустриальный университет  
Тел.: +7 (3843) 74-86-28 E-mail: redjizvz@sibsiu.ru

**В. П. Мешалкин**, академик РАН, д.т.н., профессор, РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва  
**Р. Р. Мулюков**, д.ф.-м.-н., профессор, чл.-корр. ФГБУН ИПСМ РАН, г. Уфа  
**С. А. Никулин**, д.т.н., профессор, чл.-корр. РАЕН, НИТУ МИСИС, г. Москва  
**А. Х. Нурумгалиев**, д.т.н., профессор, КГИУ, г. Караганда, Республика Казахстан  
**О. И. Островский**, д.т.н., профессор, Университет Нового Южного Уэльса, Сидней, Австралия  
**Л. Пиетрелли**, д.т.н., Итальянское национальное агентство по новым технологиям, энергетике и устойчивому экономическому развитию, Рим, Италия  
**И. Ю. Пышминцев**, д.т.н., РосНИТИ, г. Челябинск  
**А. И. Рудской**, академик РАН, д.т.н., профессор, СПбПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург  
**Б. А. Сивак**, к.т.н., профессор, АО АХК «ВНИИМЕТМАШ», г. Москва  
**Л. М. Симонян**, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва  
**Л. А. Смирнов**, академик РАН, д.т.н., профессор, ОАО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург  
**С. В. Солодов**, к.т.н., НИТУ МИСИС, г. Москва  
**Н. А. Спирин**, д.т.н., профессор, УрФУ, г. Екатеринбург  
**Г. Танг**, Институт перспективных материалов университета Циньхуа, г. Шеньжень, Китай  
**М. В. Темлянцева**, д.т.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк  
**М. Р. Филонов**, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва  
**И. В. Чуманов**, д.т.н., профессор, ЮУрГУ, г. Челябинск  
**О. Ю. Шешуков**, д.т.н., профессор, УрФУ, г. Екатеринбург  
**М. О. Шпайдель**, д.ест.н., профессор, Швейцарская академия материаловедения, Швейцария  
**А. Б. Юрьев**, д.т.н., ректор, СибГИУ, г. Новокузнецк  
**В. С. Юсупов**, д.т.н., профессор, ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

**Индексирование:** Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI), Research Bible, Chemical Abstracts, OCLC и Google Scholar

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций **ПИ № ФС77-35456**.



Статьи доступны под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

# IZVESTIYA FERROUS METALLURGY

www.fermet.misis.ru

ISSN 0368-0797 (Print) ISSN 2410-2091 (Online)

## Alternative title:

Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya

## Founders:



## Editorial Board:

**German V. Ashikhmin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "Institute Tsvetmetobrabotka", Moscow

**Sailaubai O. Baisanov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Republic of Kazakhstan

**Vladimir D. Belov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow

**Anatolii A. Brodov**, Cand. Sci. (Econ.), Bardin Central Research Institute for Ferrous Metallurgy, Moscow

**Il'ya V. Chumanov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., South Ural State Research University, Chelyabinsk

**Andrei N. Dmitriev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academician, RANS, A.M. Prokhorov Academy of Engineering Sciences, Institute of Metallurgy, Ural Branch of RAS, Ural Federal University, Yekaterinburg

**Aleksei V. Dub**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "Science and Innovations", Moscow

**Mikhail R. Filonov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow

**Sergei M. Gorbatyuk**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow

**Konstantin V. Grigorovich**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

**Victor E. Gromov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

**Aleksei G. Kolmakov**, Dr. Sci. (Eng.), Corresponding Member of RAS, Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

**Valerii M. Kolokol'tsev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

**Mariya V. Kostina**, Dr. Sci. (Eng.), Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

**Konstantin L. Kosyrev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "NPO "TSNIITMash", Moscow

**Yuliya A. Kurganova**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Bauman Moscow State Technical University, Moscow

**Linn Horst**, Linn High Therm GmbH, Hirschbach, Germany

**Vladimir I. Lysak**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Rector, Volgograd State Technical University, Volgograd

**Valerii P. Meshalkin**, Dr. Sci. (Eng.), Academician of RAS, Prof., D.I. Mendeleyev Russian Chemical-Technological University, Moscow

**Radik R. Mulyukov**, Dr. Sci. (Phys.-Chem.), Prof., Corresponding Member of RAS, Institute of Metals Superplasticity Problems of RAS, Ufa

*In accordance with paragraph 5 of the Rules for the formation of the Higher Attestation Commission list journal "Izvestiya. Ferrous metallurgy" is included in the list of leading peer-reviewed scientific journals, publication in which is taken into account in the defense of candidate and doctoral dissertations, as indexed in international data bases.*

## Editor-in-Chief:

**Leopol'd I. Leont'ev**, Academician, Adviser of the Russian Academy of Sciences; Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST "MISIS"; Chief Researcher, Institute of Metallurgy UB RAS, Moscow

4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation  
National University of Science and Technology "MISIS"

## Deputy Editor-in-Chief:

**Evgenii V. Protopopov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

## Publisher:

National University of Science and Technology "MISIS"

## Editorial Office Address:

**in Moscow**  
4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation  
National University of Science and Technology "MISIS"  
Tel.: +7 (495) 638-44-11  
E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@isis.ru

**in Novokuznetsk**  
42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass  
654007, Russian Federation  
Siberian State Industrial University  
Tel.: +7 (3843) 74-86-28 E-mail: redjizvz@sibsiu.ru

**Sergei A. Nikulin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Corresponding Member of RANS, NUST MISIS, Moscow

**Asylbek Kh. Nurumgaliev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Karaganda State Industrial University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

**Oleg I. Ostrovski**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., University of New South Wales, Sydney, Australia

**Loris Pietrelli**, Dr., Scientist, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Rome, Italy

**Igor' Yu. Pyshmintsev**, Dr. Sci. (Eng.), Russian Research Institute of the Pipe Industry, Chelyabinsk

**Andrei I. Rudskoi**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Rector, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

**Oleg Yu. Sheshukov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ural Federal University, Yekaterinburg

**Laura M. Simonyan**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow

**Robert F. Singer**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Friedrich-Alexander University, Germany

**Boris A. Sivak**, Cand. Sci. (Eng.), Prof., VNIIMETMASH Holding Company, Moscow

**Leonid A. Smirnov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academician of RAS, OJSC "Ural Institute of Metals", Yekaterinburg

**Sergei V. Solodov**, Cand. Sci. (Eng.), NUST MISIS, Moscow

**Speidel Marcus**, Dr. Natur. Sci., Prof., Swiss Academy of Materials, Switzerland

**Nikolai A. Spirin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ural Federal University, Yekaterinburg

**Tang Guoi**, Institute of Advanced Materials of Tsinghua University, Shenzhen, China

**Mikhail V. Temlyantsev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

**Ekaterina P. Volynkina**, Dr. Sci. (Eng.), Advisor, ALE "Kuzbass Association of Waste Processors", Novokuznetsk

**Aleksei B. Yur'ev**, Dr. Sci. (Eng.), Rector, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

**Vladimir S. Yusupov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

**Vladimir I. Zhuchkov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Metallurgy, Ural Branch of RAS, Ural Federal University, Yekaterinburg

**Michael Zinigrad**, Dr. Sci. (Physical Chemistry), Prof., Rector, Ariel University, Israel

**Vladimir I. Zolotukhin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Tula State University, Tula

**Indexed:** Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI), Research Bible, Chemical Abstracts, OCLC and Google Scholar

Registered in Federal Service for Supervision in the Sphere of Mass Communications **PI number FS77-35456**.



Articles are available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Шакиров М.К., Протопопов Е.В., Зимин А.В., Турчанинов Е.Б. Прогнозирование содержания углерода в металле заключительного периода продувки в кислородном конвертере с использованием нейросети ..... 638
- Уманский А.А., Байдин В.В., Симачев А.С., Думова Л.В., Сафонов С.О. Исследования процессов формирования микроструктуры мелющих шаров из рельсовой стали в зависимости от параметров закалочной среды ..... 645
- Вусихис А.С., Леонтьев Л.И., Чесноков Ю.А. Оценка эффективности электроплавки металлizedованного сидеритового концентрата ..... 653

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Почивалов Ю.И. Структура и свойства малолегированной стали 10Г2ФБЮ после прокатки в рельефных валках в условиях электропластичности ..... 659
- Ефимов М.О., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Шлярова Ю.А., Панченко И.А. Анализ зоны контакта системы «покрытие/подложка», подвергнутой облучению импульсным электронным пучком ..... 666
- Данилов В.И., Орлова Д.В., Горбатенко В.В., Данилова Л.В. Процессы Людерса и Портевена-Ле Шателля в аустенитно-мартенситной TRIP-стали ..... 673
- Зоря И.В., Поletaев Г.М., Ракитин Р.Ю. Теоретическая прочность аустенита при наличии в кристалле поры или вакансий: молекулярно-динамическое исследование ..... 681
- Яреско С.И., Гусева Г.В., Щербakov В.И., Казакевич П.В. Структура и износные характеристики чугуна после лазерной модификации поверхности ... 688
- Дмитриев А.Н., Смирнова В.Г., Вязникова Е.А., Витькина Г.Ю., Смирнов А.С. Влияние структуры неофлюсованных обожженных титаномagnetитовых окатышей на их прочность при статическом сжатии ..... 696
- Башенко Л.П., Почетуха В.В., Михайличенко Т.А. Влияние отпуска на структуру наплавленных покрытий из быстрорежущей стали ..... 705
- Власов И.В., Гордиенко А.И., Кузнецова А.Е., Семенчук В.М. Исследование структуры и анизотропии механических свойств стального изделия, полученного методом послойной электродуговой проволоочной 3D-печати ..... 709
- Крыжевич Д.С., Корчуганов А.В., Зольников К.П. Взаимодействие трещины с границей зерен в бикристаллах железа ..... 718

METALLURGICAL TECHNOLOGIES

- Shakirov M.K., Protopopov E.V., Zimin A.V., Turchaninov E.B. Prediction of carbon content in the metal of final blow period in BOF using neural network ..... 638
- Umanskii A.A., Baidin V.V., Simachev A.S., Dumova L.V., Safonov S.O. Formation of microstructure in rail steel grinding balls depending on quenching medium parameters ..... 645
- Vusikhis A.S., Leont'ev L.I., Chesnokov Yu.A. Evaluating the efficiency of metallized siderite concentrate electric melting ..... 653

MATERIALS SCIENCE

- Pochivalov Yu.I. Structure and properties of low-alloy steel 10G2FBYu after rolling in embossed rolls under conditions of electroplasticity ..... 659
- Efimov M.O., Ivanov Yu.F., Gromov V.E., Shlyarova Yu.A., Panchenko I.A. Analysis of contact zone of coating-substrate system exposed to irradiation with a pulse electron beam ..... 666
- Danilov V.I., Orlova D.V., Gorbatenko V.V., Danilova L.V. Lüders and Portevin-Le Chatelier processes in austenitic-martensitic TRIP steel ..... 673
- Zorya I.V., Poletaev G.M., Rakitin R.Yu. Theoretical strength of austenite in the presence of a pore or vacancies in the crystal: molecular dynamics study ..... 681
- Yares'ko S.I., Guseva G.V., Shcherbakov V.I., Kazakevich P.V. Structure and wear characteristics of cast iron after laser surface modification ..... 688
- Dmitriev A.N., Smirnova V.G., Vyaznikova E.A., Vit'kina G.Yu., Smirnov A.S. Effect of structure of unfluxed burnt titanomagnetite pellets on strength under static compression ..... 696
- Bashchenko L.P., Pochetukha V.V., Mikhailichenko T.A. Influence of tempering on structure of deposited high-speed steel coatings ..... 705
- Vlasov I.V., Gordienko A.I., Kuznetsova A.E., Semenchuk V.M. Structure and mechanical properties anisotropy of a steel product manufactured by layer-by-layer electric arc wire 3D printing ..... 709
- Kryzhevich D.S., Korchuganov A.V., Zol'nikov K.P. Interaction of cracks with grain boundaries in iron bicrystals ..... 718

**СОДЕРЖАНИЕ (продолжение)**

**CONTENTS (Continuation)**

Спиридонова К.В., Литовченко И.Ю., Полежаева Н.А.,  
Линник В.В., Борисенко Т.А., Чернов В.М., Ле-  
онтьева-Смирнова М.В. Структурно-фазовые  
превращения 12 % хромистой ферритно-мартен-  
ситной стали ЭП-823 ..... 725

Spiridonova K.V., Litovchenko I.Yu., Polekhina N.A.,  
Linnik V.V., Borisenko T.A., Chernov V.M.,  
Leont'eva-Smirnova M.V. Structural-phase transfor-  
mations of 12 % chromium ferritic-martensitic steel  
EP-823 ..... 725

**ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ  
ПРОМЫШЛЕННОМ И ЛАБОРАТОРНОМ  
ОБОРУДОВАНИИ, ТЕХНОЛОГИЯХ  
И МАТЕРИАЛАХ**

**INNOVATIONS IN METALLURGICAL  
INDUSTRIAL AND LABORATORY  
EQUIPMENT, TECHNOLOGIES  
AND MATERIALS**

Одинок В.И., Евстигнеев А.И., Дмитриев Э.А.,  
Карпенко В.А. Моделирование нового процесса  
перемешивания жидкого металла в кристаллизато-  
ре установки непрерывной разливки стали при вра-  
щающейся рубашке с вертикальными ребрами ..... 733

Odinokov V.I., Evstigneev A.I., Dmitriev E.A., Karpen-  
ko V.A. Simulation of a new process of mixing liquid  
metal in CCM mold with rotating cooling jacket with  
vertical ribs ..... 733

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**PHYSICO-CHEMICAL BASICS  
OF METALLURGICAL PROCESSES**

Бабенко А.А., Шартдинов Р.Р., Уполовникова А.Г.,  
Сметанников А.Н., Лобанов Д.А., Долматов А.В.  
Влияние основности на физические свойства шла-  
ков системы  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - 18\% \text{Cr}_2\text{O}_3 - 6\% \text{B}_2\text{O}_3 -$   
 $- 3\% \text{Al}_2\text{O}_3 - 8\% \text{MgO}$  ..... 743

Babenko A.A., Shartdinov R.R., Upolovnikova A.G.,  
Smetannikov A.N., Lobanov D.A., Dolmatov A.V.  
Influence of basicity on physical properties of slags of  
the  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - 18\% \text{Cr}_2\text{O}_3 - 6\% \text{B}_2\text{O}_3 - 3\% \text{Al}_2\text{O}_3 -$   
 $- 8\% \text{MgO}$  system ..... 743

**ПО МАТЕРИАЛАМ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ ШКОЛА  
ДЛЯ МОЛОДЫХ МЕТАЛЛУРГОВ»**

**BASED ON THE MATERIALS  
OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE  
“SCIENTIFIC AND PRACTICAL SCHOOL FOR  
YOUNG METALLURGISTS”**

Гаманюк С.Б., Руцкий Д.В., Зюбан Н.А., Кири-  
чев М.В., Никитин М.С. Физическое моделирова-  
ние влияния долижки расплава в прибыльную часть  
слитка на процесс затвердевания и структурообра-  
зование ..... 750

Gamanyuk S.B., Rutskii D.V., Zyuban N.A., Kirili-  
chev M.V., Nikitin M.S. Physical modeling of the effect  
of refilling the melt into an ingot knock-off head on so-  
lidification and structure formation ..... 750

Аксенова В.В., Павлов А.В., Марков Г.М. Получение  
рафинировочных глиноземсодержащих флюсов ме-  
тодом спекания из техногенного сырья ..... 760

Aksenova V.V., Pavlov A.V., Markov G.M. Production of  
refining alumina containing fluxes by sintering from  
technogenic raw materials ..... 760

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

**INFORMATION TECHNOLOGIES  
AND AUTOMATIC CONTROL  
IN FERROUS METALLURGY**

Соломонов К.Н., Тишук Л.И., Горбатьюк С.М., Снит-  
ко С.А., Чиченева О.Н. Моделирование картины  
течения металла при формообразовании поковки из  
плоской заготовки ..... 768

Solomonov K.N., Tishchuk L.I., Gorbatyuk S.M., Snit-  
ko S.A., Chicheneva O.N. Modeling the pattern of  
metal flow during forming of forgings from a flat billet ... 768

Указатель статей, помещенных в 2023 г., том 66 ..... 775

Index of articles “Izvestiya. Ferrous Metallurgy” for  
2023, vol. 66 ..... 775