ISSN 1997-308X
eISSN 2412-8767

# ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ

*НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ*
*ОСНОВАН В 2007 Г.*
*ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД*

http://powder.misis.ru

**Учредитель:** МИСИС УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

**ФГАОУ ВО Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**
*Адрес:* 119049, Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1
https://www.misis.ru

## Главный редактор

**Евгений Александрович Левашов**
*д.т.н., чл.-корр. РАН, профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва*

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации результатов диссертаций на соискание ученых степеней.
Журнал включен в базы данных: Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI), Ulrich's Periodicals Directory, РИНЦ, БД/РЖ ВИНИТИ.

## Редакционная коллегия

**М. И. Алымов** – д.т.н., чл.-корр. РАН, проф., ИСМАН, г. Черноголовка
**А. П. Амосов** – д.ф.-м.н., проф., СамГТУ, г. Самара
**И. В. Блинков** – д.т.н., проф., НИТУ МИСИС, г. Москва
**П. А. Витязь** – д.т.н., акад. НАНБ, проф., НАН Беларуси, г. Минск
**В. Ю. Дорофеев** – д.т.н., проф., ЮРГПУ (НПИ), г. Новочеркасск
**А. А. Зайцев** – к.т.н., доц., НИТУ МИСИС, г. Москва
**А. Ф. Ильющенко** – д.т.н., акад. НАН Беларуси, проф., ГНПО ПМ НАН Беларуси, г. Минск
**Д. Ю. Ковалев** – д.ф.-м.н., ИСМАН, г. Черноголовка
**Ю. Р. Колобов** – д.ф.-м.н., проф., ФИЦ ПХФ и МХ РАН, г. Черноголовка
**В. С. Комлев** – д.т.н., чл.-корр. РАН, проф., ИМЕТ РАН, г. Москва
**Ю. М. Королев** – д.т.н., проф., НТА «Порошковая металлургия», г. Москва
**В. П. Кузнецов** – д.т.н., проф., УрФУ, г. Екатеринбург
**С. В. Кузьмин** – д.т.н., чл.-корр. РАН, проф., ВолгГТУ, г. Волгоград
**Ю. В. Левинский** – д.т.н., проф., ИСМАН, г. Черноголовка
**А. Е. Лигачев** – д.ф.-м.н., проф., ИОФ РАН, г. Москва
**А. А. Лозован** – д.т.н., проф., МАИ (НИУ), г. Москва
**В. Ю. Лонатин** – к.т.н., доц., НИТУ МИСИС, г. Москва
**В. И. Лысак** – д.т.н., акад. РАН, проф., ВолгГТУ, г. Волгоград
**А. В. Макаров** – д.т.н., акад. РАН, ИФМ УрО РАН, УрФУ, г. Екатеринбург
**С. А. Оглезнева** – д.т.н., проф., ПНИПУ, г. Пермь
**И. Б. Пантелеев** – д.т.н., проф., СПбГТИ (ТУ), г. Санкт-Петербург
**М. И. Петржик** – д.т.н., проф., НИТУ МИСИС, г. Москва
**Ю. С. Погожев** – к.т.н., доц., НИТУ МИСИС, г. Москва
**В. В. Поляков** – д.ф.-м.н., проф., АлтГУ, г. Барнаул
**А. А. Попович** – д.т.н., чл.-корр. РАЕН, проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург
**С. Е. Порозова** – д.т.н., проф., ПНИПУ, г. Пермь
**А. А. Ремнель** – д.ф.-м.н., акад. РАН, проф., ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург
**А. Н. Тимофеев** – д.т.н., АО «Композит», г. Королев
**М. В. Чукин** – д.т.н., проф., МГТУ, г. Магнитогорск
**С. Д. Шляпин** – д.т.н., проф., МАИ (НИУ), г. Москва
**Д. В. Штанский** – д.ф.-м.н., проф., НИТУ МИСИС, г. Москва
**H. Danninger** – Dr. Sci., Prof., Vienna University of Technology, Vienna, Austria
**B. Derin** – Dr. Sci. (Phil.), Assoc. Prof., Istanbul Technical University, Maslak, Istanbul, Turkey
**Yu. Estrin** – Dr. Sci. (Nat.), Prof., Monash University, Clayton, Australia
**I. Konyashin** – Dr. Sci. (Econ.), Prof., Element Six GmbH, Burghaun, Germany
**S. A. Kulinich** – PhD (Chem.), Associate Prof., Tokai University, Hiratsuka, Kanagawa, Japan
**L. L. Mishnaevsky** – Dr. Habil. (Eng.), Technical University of Denmark, Roskilde, Denmark
**A. S. Mukasyan** – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., University of Notre Dame, Notre Dame, USA
**R. Orrù** – Dr. Sci. (Eng.), Prof., University of Cagliari, Cagliari, Italy
**F. Peizhong** – Dr. Sci., Prof., China University of Mining and Technology, Xuzhou, P.R. China
**C. Pengwan** – Dr. Sci., Prof., Beijing Institute of Technology, Beijing, P.R. China
**F. Rustichelli** – Dr. Sci. (Phys.), Prof., University of Marches, Ancona, Italy
**Zheng YongTing** – Dr. Sci., Prof., Harbin Institute of Technology, Harbin, P.R. China
**F. Zhengyi** – Dr. Sci., Prof., Wuhan University of Technology, Wuhan, P.R. China

## Редакция журнала

*Адрес:* 119049, Москва,
Ленинский пр-т, 4, стр. 1. НИТУ МИСИС

*Тел.:* +7 (495) 638-45-35. *Эл. почта:* izv.vuz@misis.ru

Свидетельство о регистрации № **ФС77-27955** от 12.04.2007 г.
Перерегистрация 25.09.2020 г. **ПИ № ФС77-79230**

ПМ и ФП ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ © НИТУ МИСИС, Москва, 2026

*Статьи доступны под лицензией Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivatives*

***Ведущий редактор:*** О.В. Соснина
***Выпускающий редактор:*** А.А. Кудинова
***Дизайн и верстка:*** В.В. Расенець

Подписано в печать 21.03.2026. Формат 60×90 $^1/_8$
Бум. офсетная № 1. Печать цифровая. Усл. печ. л. 11,25
Заказ 24438. Цена свободная
Отпечатано в типографии Издательского Дома МИСИС
119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1
Тел./факс: +7 (499) 236-76-17

# POWDER METALLURGY AND FUNCTIONAL COATINGS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL
FOUNDED IN 2007
FOUR ISSUES PER YEAR

http://powder.misis.ru

ISSN 1997-308X
eISSN 2412-8767

Founder: MISIS UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

National University of Science and Technology "MISIS"
*Address:* 1 Bld, 4 Leninskiy Prosp., Moscow 119049, Russian Federation
http://www.misis.ru



## Editor-in-Chief

**Evgeny A. Levashov**
*Dr. Sci. (Eng.), Corr. Mem. of the RAS, Prof., NUST MISIS, Moscow, Russian Federation*



Journal is included into the List of peer-reviewed scientific publications recommended by the Highest Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for publishing the results of doctoral and candidate dissertations.
Abstracting/Indexing: Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI), Ulrich's Periodicals Directory, VINITI Database (Abstract Journal).



## Editorial Board

M. I. Alymov – Dr. Sci. (Eng.), Corresponding Member of the RAS, Merzhanov Institute of Structural Macrokinetics and Materials Sciences of the RAS, Chernogolovka, Russia
A. P. Amosov – Prof., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Samara State Technical University, Samara, Russia
I. V. Blinkov – Prof., Dr. Sci. (Eng.), NUST MISIS, Moscow, Russia
M. V. Chukin – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
H. Danninger – Prof., Dr. Sci., Vienna University of Technology, Vienna, Austria
B. Derin – Assoc. Prof., Dr. Sci. (Phil.), Istanbul Technical University, Maslak, Istanbul, Turkey
V. Yu. Dorofeyev – Prof., Dr. Sci. (Eng.), South-Russian State Polytechnical University (NPI), Novocherkassk, Russia
Yu. Estrin – Prof., Dr. Sci. (Nat.), Monash University, Clayton, Australia
A. Ph. Hyushchanka – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Acad. of the NAS of Belarus, State Research and Production Powder Metallurgy Association, Minsk, Belarus
Yu. R. Kolobov – Prof., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Federal Research Center of Problems of Chemical Physics and Medicinal Chemistry of the RAS, Chernogolovka, Russia
V. N. Konshev – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Corresponding Member of the RAS, Institute of Metallurgy of the RAS, Moscow, Russia
I. Konyashin – Prof., Dr. Sci. (Econ.), Element Six GmbH, Burghaun, Germany
Yu. M. Korolyov – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Scientific and Technical Association "Powder Metallurgy", Moscow, Russia
D. Yu. Kovalev – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Merzhanov Institute of Structural Macrokinetics and Materials Sciences of the RAS, Chernogolovka, Russia
S. A. Kulinich – Assoc. Prof., PhD (Chem.), Tokai University, Hiratsuka, Kanagawa, Japan
S. V. Kuzmin – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
V. P. Kuznetsov – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
Yu. V. Levinsky – Prof., Dr. Sci. (Eng.) Merzhanov Institute of Structural Macrokinetics and Materials Sciences of the RAS, Chernogolovka, Russia
A. E. Ligachyov – Prof., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prokhorov General Physics Institute of the RAS, Moscow, Russia
V. Yu. Lopatin – Cand. Sci., NUST MISIS, Moscow, Russia
A. A. Lozovan – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Moscow Aviation Institute (NRU), Moscow, Russia
V. I. Lysak – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Acad. of the RAS, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
A. V. Makarov – Dr. Sci. (Eng.), Acad. of the RAS, M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the RAS, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
L. L. Mishnaevsky – Dr. Habil. (Eng.), Technical University of Denmark, Roskilde, Denmark
A. S. Mukasyan – Prof., Dr. Sci. (Phys.-Math.), University of Notre Dame, Notre Dame, USA
S. A. Oglezneva – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russia
R. Orrù – Prof., Dr. Sci. (Eng.), University of Cagliari, Cagliari, Italy
I. B. Panteleev – Prof., Dr. Sci. (Eng.), St. Petersburg State Technological Institute (Technical University), St. Petersburg, Russia
F. Peizhong – Prof., Dr. Sci., China University of Mining and Technology, Xuzhou, P.R. China
C. Pengwan – Prof., Dr. Sci., Beijing Institute of Technology, Beijing, P.R. China
M. I. Petrzhik – Dr. Sci. (Eng.), NUST MISIS, Moscow, Russia
Yu. S. Pogozhev – Assoc. Prof., Cand. Sci. (Eng.), NUST MISIS, Moscow, Russia
V. V. Polyakov – Prof., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Altai State University, Barnaul, Russia
A. A. Popovich – Prof., Dr. Sci. (Eng.)., Corresp. Member of the RANS, St. Petersburg State Polytechnical University (National Research University), St. Petersburg, Russia
S. E. Porozova – Dr. Sci. (Eng.), Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russia
A. A. Rempel – Prof., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Acad. of the RAS, Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russia
F. Rustichelli – Prof., Dr. Sci. (Phys.), University of Marches, Ancona, Italy
S. D. Shlyapin – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Moscow Aviation Institute (NRU), Moscow, Russia
D. V. Shtansky – Prof., Dr. Sci. (Phys.-Math.), NUST MISIS, Moscow, Russia
A. N. Timofeev – Dr. Sci. (Eng.), JSC "Komposite", Korolev, Russia
P. A. Vityaz' – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Acad. of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus
A. A. Zaitsev – Assoc. Prof., Cand. Sci. (Eng.), NUST MISIS, Moscow, Russia
Zheng YongTing – Prof., Dr. Sci., Harbin Institute of Technology, Harbin, P.R. China
F. Zhengyi – Prof., Dr. Sci., Wuhan University of Technology, Wuhan, P.R. China

## Editorial Staff



*Address:* NUST MISIS,
1 Bld, 4 Leninskiy Prosp., Moscow 119049, Russian Federation

*Phone:* +7 (495) 638-45-35. *E-mail:* izv.vuz@misis.ru

Certificate of registration **No. FS77-27955** (12.04.2007)
Re-registration **PI No. FS77-79230** (25.09.2020)



PM & FC © NUST MISIS, Moscow, 2026

*Articles are available under Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivatives*



*Leading Editor:* O.V. Sosnina
*Executive Editor:* A.A. Kudinova
*Layout Designer:* V.V. Rasenets

Signed print 21.03.2026. Format 60×90 1/8
Offset paper No. 1. Digital printing. Quires 11.25
Order 24438. Free price
Printed in the printing house of the MISIS Publish House
1 Bld, 4 Leninskiy Prosp., Moscow 119049, Russian Federation
Phone/fax: +7 (499) 236-76-17