

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»

---

---

НАУКОВИЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИЙ ЖУРНАЛ

**Металознавство**  
та  
термічна обробка металів

З А С Н О В А Н И Й У 1 9 9 7 Р О Ц І

---

---

**№ 4 (87)**

---

---

ДНІПРО  
2019



УДК 669017  
ББК 34.2  
М 54

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації **КВ № 2376** від 09.01.1997 р.

Свідоцтво – Серія ДК № 1291 від 20.03.2003 р. про внесення ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» як суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців та поширювачів видавничої продукції.

*Засновник журналу:*

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Позиція ректорату академії та редколегії може не збігатися з думками авторів журналу.

Рекомендовано до друку вченою радою ДВНЗ ПДАБА (протокол № 5 від 24.12.2019 р.).

Мови видання: українська, російська та англійська.

Згідно з додатком № 12 до наказу Міністерства освіти і науки України від 16.05.2016 р. № 515 журнал входить до переліку № 1 «Наукові фахові видання України», в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора та кандидата технічних наук.

Наукометричні бази та електронні бібліотеки, в яких зареєстрований науковий журнал: *Інформаційно-аналітичні системи – РІНЦ (eLibrary), ResearchBib; електронні бібліотеки та пошукові системи – Українські наукові журнали, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського.*

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

головний редактор – д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, м. Дніпро

**В. І. Большаков**

заст. гол. редактора – д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, м. Дніпро

**В. В. Данішевський**

відповідальний секретар та випусковий редактор – к-т техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, м. Дніпро

**О. А. Тимошенко**

**ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:**

**О. І. Бабаченко**, д-р техн. наук, *Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, м. Дніпро.*

**О. В. Бекстов**, к-т техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, м. Дніпро. **В. С. Вахрушева**, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, м. Дніпро. **В. М. Волчук**, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, м. Дніпро. **Т. О. Дергач**, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, м. Дніпро. **С. І. Губенко**, д-р техн. наук, *Національна металургійна академія України, м. Дніпро.*

**В. З. Куцова**, д-р техн. наук, *Національна металургійна академія України, м. Дніпро.*

**Д. В. Лаухін**, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, м. Дніпро.

**Ю. Я. Мешков**, д-р техн. наук, *Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ.*

**А. Г. Пригунова**, д-р техн. наук, *Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ.*

**М. В. Савицький**, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, м. Дніпро. **Г. Д. Сухомлин**, д-р техн. наук, ДВНЗ ПДАБА, м. Дніпро. **І. Г. Узлов**, д-р техн. наук, *Інститут чорної металургії імені З. І. Некрасова НАН України, м. Дніпро.*

**Х. А. Аскеров**, к-т техн. наук, *Університет Карабюк, м. Карабюк (Туреччина).*

**В. І. Куксенко**, к-т техн. наук, *Управління з атомної енергетики Великобританії, м. Оксфорд (Великобританія).*

Художній редактор

**С. Б. Пономарьов**

Технічний редактор

**О. А. Тимошенко**

Комп'ютерна верстка

**І. М. Шурова**

Редактор, коректор

**В. Д. Маловик**

ISSN 2413-7405



9 772413 740002

Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24-а  
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»  
☎ +38(050) 452-43-63  
e-mail : [mitomdnipro1997@gmail.com](mailto:mitomdnipro1997@gmail.com), [http : //www.mtom.pgasa.dp.ua](http://www.mtom.pgasa.dp.ua)

© ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», 2019

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**  
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ**  
**«ПРИДНИПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ**  
**СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»**

---

---

**НАУЧНЫЙ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ**

**Металловедение**  
**И**  
**термическая обработка металлов**

**О С Н О В А Н В 1 9 9 7 Г О Д У**

---

---

**№ 4 (87)**

---

---

**ДНИПРО**

**2019**



УДК 669017  
ББК 34.2  
М 54

Свидетельство о государственной регистрации печатного средства массовой информации **КВ № 2376** от 09.01.1997 г.

Свидетельство – Серия ДК № 1291 от 20.03.2003 г. о внесении ГВУЗ «Приднiproвская государственная академия строительства и архитектуры» как субъекта издательского дела в Госреестр издателей и распространителей издательской продукции.

*Основатель журнала:*

ГВУЗ «Приднiproвская государственная академия строительства и архитектуры»

Позиция ректората академии и редколлегии может не совпадать с мнением авторов журнала.

Рекомендовано к печати ученым советом ГВУЗ ПГАСА (протокол № 5 от 24.12.2019 г.).

Языки издания: украинский, русский и английский.

В соответствии с приложением № 12 к приказу Минобразования и науки Украины от 16.05.2016 г. № 515 журнал входит в перечень № 1 «Научные специализированные издания Украины», в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на соискание ученых степеней доктора и кандидата технических наук.

Наукометрические базы и электронные библиотеки, в которых зарегистрирован научный журнал: *Информационно-аналитические системы – РИНЦ (eLibrary), ResearchBib; электронные библиотеки и поисковые системы – Украинские научные журналы, Национальная библиотека Украины им. В. И. Вернадского*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

главный редактор – д-р техн. наук, ГВУЗ ПГАСА, г. Днipro

**В. И. Большаков**

зам. глав. редактора – д-р техн. наук, ГВУЗ ПГАСА, г. Днipro

**В. В. Данишевский**

ответственный секретарь и выпускающий редактор – к-т техн. наук, ГВУЗ ПГАСА, г. Днipro

**Е. А. Тимошенко**

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:**

**А. И. Бабаченко**, д-р техн. наук, *Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, г. Днipro.*

**А. В. Бекетов**, к-т техн. наук, ГВУЗ ПГАСА, г. Днipro.

**В. С. Вахрушева**, д-р техн. наук, ГВУЗ ПГАСА, г. Днipro.

**В. Н. Волчук**, д-р техн. наук, ГВУЗ ПГАСА, г. Днipro.

**Т. А. Дергач**, д-р техн. наук, ГВУЗ ПГАСА, г. Днipro.

**С. И. Губенко**, д-р техн. наук, *Национальная металлургическая академия Украины, г. Днipro.*

**В. З. Куцова**, д-р техн. наук, *Национальная металлургическая академия Украины, г. Днipro.*

**Д. В. Лаухин**, д-р техн. наук, ГВУЗ ПГАСА, г. Днipro.

**Ю. Я. Мешков**, д-р техн. наук, *Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, г. Киев.*

**А. Г. Пригунова**, д-р техн. наук, *Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев.*

**Н. В. Савицкий**, д-р техн. наук, ГВУЗ ПГАСА, г. Днipro.

**Г. Д. Сухомлин**, д-р техн. наук, ГВУЗ ПГАСА, г. Днipro.

**И. Г. Узлов**, д-р техн. наук, *Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, г. Днipro.*

**Х. А. Аскеров**, к-т техн. наук, *Университет Карабюк, г. Карабюк (Турция).*

**В. И. Куксенко**, к-т техн. наук, *Управление атомной энергетики Великобритании, г. Оксфорд (Великобритания).*

Художественный редактор

**С. Б. Пономарев**

Технический редактор

**Е. А. Тимошенко**

Компьютерная верстка

**И. М. Шурова**

Редактор, корректор

**В. Д. Маловик**

ISSN 2413-7405



9 772413 740002

Украина, 49600, г. Днipro, ул. Чернышевского, 24-а  
ГВУЗ «Приднiproвская государственная академия строительства и архитектуры»

+38(050) 452-43-63

e-mail : [mitomdnipro1997@gmail.com](mailto:mitomdnipro1997@gmail.com), <http://www.mtom.pgasa.dp.ua>

© ГВУЗ «Приднiproвская государственная академия строительства и архитектуры», 2019

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

STATE HIGHER EDUCATION INSTITUTION  
“PRYDNIPROVSKA STATE ACADEMY OF CIVIL ENGINEERING  
AND ARCHITECTURE”

---

---

SCIENTIFIC AND INFORMATION JOURNAL

**Metal Science  
and  
Heat Treatment of Metals**

Established in 1997

---

**№ 4 (87)**

---

---

\*

---

---

DNIPRO  
2019



UDC 669017  
LBC 34.2  
M 54

State Registration Certificate of Publication Media, series  
KB № 2376 dated on 09.01.1997.

Certificate – Series DK № 1291 dated on 20.03.2003  
about admitting SHEI “Prydniprovsk State Academy of  
Civil Engineering and Architecture” as the subject  
of publishing in the State Register of publishers  
and publishing products distribution

*Founder of the journal:*

SHEI “Prydniprovsk State Academy of Civil  
Engineering and Architecture”

The position of Rector of the Academy and editorial  
board can be at variance with the views of journal  
authors.

Recommended for publication by the Academic Council  
SHEI PSACEA (protocol No. 5 dated on 24.12.2019).

Languages: Ukrainian, Russian and English.

According to the annex to the order № 12 of the Ministry  
of Education and Science of Ukraine from 16.05.2016  
No. 515 the journal is listed to number 1 "Scientific  
Publications of Ukraine", in which can be published the  
dissertations for the degree of doctor and candidate  
of technical sciences results.

Scientometric databases and electronic libraries in which  
was the scientific journal: *Information and analytical  
systems* – Russian Science Citation Index (eLibrary),  
ResearchBib; *electronic libraries and search engines* –  
Ukrainian scientific journals, National library of Ukraine  
named V. I. Vernadskyi

**EDITORIAL STAFF:**

**V. I. Bolshakov**, Chief Editor, Doctor of Engineering  
Science, *SHEI PSACEA, Dnipro*

**V. V. Danyshevskiy**, Deputy Chief Editor, Doctor  
of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro*

**O. A. Tymoshenko**, Executive Secretary & Editor,  
Candidate of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro*

**MEMBERS OF EDITORIAL STAFF:**

**O. I. Babachenko**, Doctor of Engineering Science, *Iron  
and Steel Research Institute named Z. I. Nekrasov of the  
N. A. S. of Ukraine, Dnipro*. **O.V. Beketov**, Candidate  
of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro*.

**V. S. Vakhrusheva**, Doctor of Engineering Science,  
*SHEI PSACEA, Dnipro*. **V. M. Volchuk**, Doctor  
of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro*.

**T. O. Derhach**, Doctor of Engineering Science,  
*SHEI PSACEA, Dnipro*. **S. I. Gubenko**, Doctor  
of Engineering Science, *National Metallurgical Academy  
of Ukraine, Dnipro*.

**V. Z. Kutsova**, Doctor of Engineering  
Science, *National Metallurgical Academy of Ukraine,  
Dnipro*. **D.V. Laukhin**, Doctor of Engineering Science,  
*SHEI PSACEA, Dnipro*. **Yu. Ya. Mieshkov**, Doctor  
of Engineering Science, *G. V. Kurdyumov Institute for  
Metal Physics of the N. A. S. of Ukraine, Kyiv*.

**A. G. Pryhunova**, Doctor of Engineering Science, *Physico-  
Technological Institute of Metals and Alloys of the N. A. S.  
of Ukraine, Kyiv*. **M. V. Savyt'skiy**, Doctor of Engineering  
Science, *SHEI PSACEA, Dnipro*. **H. D. Sukhomlyn**,  
Doctor of Engineering Science, *SHEI PSACEA, Dnipro*.

**I. H. Uzlov**, Doctor of Engineering Science, *Iron and Steel  
Research Institute named Z. I. Nekrasov of the N. A. S.  
of Ukraine, Dnipro*. **Khanhardash Askerov**, Candidate  
of Engineering Science, *Karabük University, Karabük  
(Turkey)*. **V. I. Kuksenko**, Ph D in Physics (France),  
*UK Atomic Energy Authority, Oxford, Great Britain*.

**I. H. Uzlov**, Doctor of Engineering Science, *Iron and Steel  
Research Institute named Z. I. Nekrasov of the N. A. S.  
of Ukraine, Dnipro*. **Khanhardash Askerov**, Candidate  
of Engineering Science, *Karabük University, Karabük  
(Turkey)*. **V. I. Kuksenko**, Ph D in Physics (France),  
*UK Atomic Energy Authority, Oxford, Great Britain*.

Art Editor

**S. B. Ponomarov**

Technical Editor

**O. A. Tymoshenko**

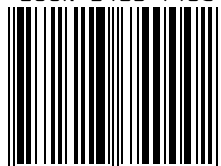
Desktop Publishing

**I. M. Shurova**

Editor and Proof-reader

**V. D. Malovyk**

ISSN 2413-7405



9 772413 740002

Ukraine, 49600, Dnipro, Chernyshevskoho St., 24-a  
SHEI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”

☎ +38(050) 452-43-63

e-mail : [mitomdnipro1997@gmail.com](mailto:mitomdnipro1997@gmail.com)

http : [//www.mtom.pgasa.dp.ua](http://www.mtom.pgasa.dp.ua)

© SHEI “Prydniprovsk State Academy of Civil  
Engineering and Architecture”, 2019