

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

## **ВІСНИК**

**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
«ХПІ»**

*Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*

**№ 10(1232) 2017**

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків  
НТУ «ХПІ», 2017

**Вісник Національного технічного університету «ХПІ».** Збірник наукових праць. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 10(1232). – 98 с. – ISSN 2078-774X.

**Державне видання**

**Свідоцтво Держкомітета по інформаційній політиці України**

**КВ № 5256 від 2 липня 2001 року**

Збірник виходить українською та російською мовами

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого рішенням Атестаційної колегії МОН України щодо діяльності спеціалізованих вчених рад, від 15 грудня 2015 р. Наказ № 1328 (додаток 8) від 21.12.2015 р.*

Видання засновано Національним технічним університетом «ХПІ» в 2001 році

**Координаційна рада:**

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ (**голова**);  
К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);  
А. П. МАРЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Є. І. СОКОЛ, д-р техн. наук, чл.-кор. НАНУ;  
Є. Є. АЛЕКСАНДРОВ, д-р техн. наук, проф.; А. В. БОЙКО, д-р техн. наук, проф.;  
Ф. Ф. ГЛАДКИЙ, д-р техн. наук, проф.; М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.;  
А. І. ГРАБЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; В. Г. ДАНЬКО, д-р техн. наук, проф.;  
В. Д. ДМИТРИЄНКО, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. ДОМНІН, д-р техн. наук, проф.;  
В. В. СПІФАНОВ, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. ЗАЙЦЕВ, канд. техн. наук, проф.;  
П. О. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф.; В. Б. КЛЕПІКОВ, д-р техн. наук, проф.;  
С. І. КОНДРАШОВ, д-р техн. наук, проф.; В. І. КРАВЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.;  
Г. В. ЛІСАЧУК, д-р техн. наук, проф.; О. К. МОРАЧКОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.;  
В. І. НІКОЛАЄНКО, канд. іст. наук, проф.; П. Г. ПЕРЕРВА, д-р екон. наук, проф.;  
В. А. ПУЛЯЄВ, д-р техн. наук, проф.; М. І. РИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.;  
В. Б. САМОРОДОВ, д-р техн. наук, проф.; Г. М. СУЧКОВ, д-р техн. наук, проф.;  
Ю. В. ТИМОФІЄВ, д-р техн. наук, проф.; М. А. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф.

**Редакційна колегія серії:**

**Відповідальний редактор:** А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.

**Відповідальний секретар:** Ю. О. Юдін, канд. техн. наук, проф.

**Члени редколегії:** А. М. ГАНЖА, д-р техн. наук, проф.; В. І. ГНЕСІН, д-р техн. наук, проф.;  
S. Yershov, д-р техн. наук, проф. (USA); О. В. ЕФІМОВ, д-р техн. наук, проф.;  
P. Ligani, д-р техн. наук, проф. (USA); Ю. М. МАЦЕВИТИЙ, д-р техн. наук, дійсний чл. НАНУ;  
S. Nick, д-р техн. наук, проф. (UK); А. В. РУСАНОВ, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ;  
R. Rzadkowski, д-р техн. наук, проф. (Poland); М. О. ТАРАСЕНКО, канд. техн. наук, проф.;  
О. І. ТАРАСОВ, д-р техн. наук, проф.; А. П. УСАТИЙ, д-р техн. наук, проф.;  
А. А. ХАЛАТОВ, д-р техн. наук, проф., дійсний чл. НАНУ; О. Ю. ЧЕРНОУСЕНКО, д-р техн. наук, проф.;  
О. Л. ШУБЕНКО, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування», включений у довідник періодичних видань баз даних **Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)**, **Google Scholar**, **Index Copernicus**.*

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 3 від 24 березня 2017 р.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY  
“KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE”

# **BULLETIN**

**OF THE NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY  
“KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE”**

*Series: Power and Heat Engineering Processes and Equipment*

**№ 10(1232) 2017**

Collected Works

The publication was founded in 1961

Kharkiv  
NTU “KhPI”, 2017

**Bulletin of the NTU “KhPI”.** Collected Works. Series: Power and Heat Engineering Processes and Equipment. – Kharkiv : NTU “KhPI”. – 2017. – No. 10(1232). – 98 p. – ISSN 2078-774X.

**State edition**

**Certificate of State Committee of Ukraine for Information Policy  
KB No 5256 from July 2, 2001**

The collection is published in Ukrainian and Russian.

*The Bulletin of the National Technical University “KPI” is put on “The List of Scientific Professional Editions of Ukraine that publish the data of theses for the degree of candidate of sciences and the degree of doctor” approved by the Decision of the Certifying Board of the Ministry of Education and Science of Ukraine as to the Activities of Special Academic Councils of December 2015. Order No 1328 (Supplement No 8) of 21 December 2015.*

**Coordinating Board:**

L. L. Tovazhnyanskyy, D.Sc., Prof., corresponding member NAS of Ukraine (**chief**);  
K. A. Gorbunov, Ph.D., Associate Prof. (**secretary**);  
A. P. Marchenko, D.Sc., Prof.; Ye. I. Sokol, D.Sc., Prof., corresponding member NAS of Ukraine;  
E. E. Aleksandrov, D.Sc., Prof.; A. V. Boiko, D.Sc., Prof.;  
F. F. Gladkiy, D.Sc., Prof.; M. D. Godlevskiy, D.Sc., Prof.;  
A. I. Grabchenko, D.Sc., Prof.; V. G. Danko, D.Sc., Prof.;  
V. D. Dmitrienko, D.Sc., Prof.; I. F. Domnin, D.Sc., Prof.;  
V. V. Epifanov, Ph.D., Prof.; Yu. I. Zaytsev, Ph.D., Prof.;  
P. A. Kachanov, D.Sc., Prof.; V. B. Klepikov, D.Sc., Prof.;  
S. I. Kondrashov, D.Sc., Prof.; V. I. Kravchenko, D.Sc., Prof.;  
G. V. Lisachuk, D.Sc., Prof.; O. K. Morachkovsky, D.Sc., Prof.;  
V. I. Nikolaenko, Ph.D., Prof.; P. G. Pererva, D.Sc., Prof.;  
V. A. Pulyaev, D.Sc., Prof.; M. I. Rishchenko, D.Sc., Prof.;  
V. B. Samorodov, D.Sc., Prof.; G. M. Suchkov, D.Sc., Prof.;  
Yu. V. Timofeev, D.Sc., Prof.; M. A. Tkachuk, D.Sc., Prof.

**Editorial Board:**

**Editor:** A. V. Boiko, D.Sc., Prof.

**Secretary:** Yu. A. Yudin, Ph.D., Prof.

**Members of the editorial board:** A. M. Ganzha, D.Sc., Prof.; V. I. Gnesin, D.Sc., Prof.;  
S. Yershov, D.Sc., Prof. (USA); A. V. Yefimov, D.Sc., Prof.;  
P. Ligrani, D.Sc., Prof. (USA); Yu. M. Matsevity, D.Sc., Prof., Academician of the NAS of Ukraine;  
S. Nick, D.Sc., Prof. (UK); A. V. Rusanov, D.Sc., corresponding member NAS of Ukraine;  
R. Rzadkowski, D.Sc., Prof. (Poland); M. O. Tarasenko, Ph.D., Prof.; A. I. Tarasov, D.Sc., Prof.;  
A. P. Usaty, D.Sc., Prof.; A. A. Khalatov, D.Sc., Prof., Academician of the NAS of Ukraine;  
O. Yu. Chernousenko, D.Sc., Prof.; O. L. Shubenko, D.Sc., Prof., corresponding member NAS of Ukraine

*Bulletin of the of the National Technical University “KhPI” series “Power and Heat Engineering Processes and Equipment” included in the directory databases of periodicals “Ulrich’s Periodicals Directory” (New Jersey, USA), Google Scholar, Index Copernicus.*

Recommended for publication by the Academic Council of NTU “KhPI”  
Protocol number 3 of 24 March 2017