

**Учредитель:** МГТУ им. Н.Э. Баумана**Издатель:**

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
+7-499-263-69-50, 263-60-45  
press@bmtu.ru, https://press.bmtu.ru

**Редакция:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
+7-499-263-63-54, izvuzmash@bmtu.ru  
www.izvuzmash.ru

Издается с 1958 г. Выходит ежемесячно

Журнал входит в перечень утвержденных  
ВАК РФ изданий для публикаций трудов  
соискателей ученых степеней

Журнал включен в систему РИНЦ, Russian  
Science Citation Index на платформе Web of  
Science, EBSCO

При использовании материалов ссылка  
на журнал обязательна

Подписной индекс журнала  
«Известия высших учебных заведений.  
Машиностроение» на 2025 г. 70370.  
Подписку можно оформить  
в агентстве «Урал-Пресс»  
+7-495-961-23-62, www.ural-press.ru

**Главный редактор:** С.С. Гаврюшин  
д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
**Ответственный секретарь:** Е.Н. Андропова  
**Верстка:** Н.Ф. Бердавецца  
**Дизайн:** А.С. Ключева

**Редакционная коллегия:**

**Артемьев Б.В.** д-р техн. наук (Ассоциация «СПЕКТР-ГРУПП»), Россия  
**Бочкарев С.В.** д-р техн. наук (ПНИПУ), Россия  
**Ваулин С.Д.** д-р техн. наук (ЮУрГУ), Россия  
**Галиновский А.Л.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Грибин В.Г.** д-р техн. наук (МЭИ), Россия  
**Григорьянц А.Г.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Грубый С.В.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Девянин С.Н.** д-р техн. наук (РГАУ-МСХА), Россия  
**Еникеев Р.Д.** д-р техн. наук (УГАТУ), Россия  
**Еремин Е.Н.** д-р техн. наук (ОмГТУ), Россия  
**Зубков Н.Н.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Калиакпаров А.Г.** д-р техн. наук (ПГУ им. С. Торайгырова), Республика Казахстан  
**Камалтдинов В.Г.** д-р техн. наук (ЮУрГУ), Россия  
**Келлер И.Э.** д-р физ.-мат. наук (ИМСС УрО РАН, Пермь), Россия  
**Коновалов А.В.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Люминарский И.Е.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Марков В.А.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Подураев Ю.В.** д-р техн. наук (МГТУ «Станкин»), Россия  
**Пожбелко В.И.** д-р техн. наук (ЮУрГУ), Россия

**Просунцов П.В.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Резник С.В.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Русин М.Ю.** д-р техн. наук (НПК РТО), Россия  
**Саяпин С.Н.** д-р техн. наук (ИМАШ РАН), Россия  
**Серебрянников С.В.** д-р техн. наук (МЭИ), Россия  
**Сорокин Ф.Д.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Тимофеев Г.А.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Тимошенко В.П.** д-р техн. наук (ОАО НПО «Молния»), Россия  
**Тимушев С.Ф.** д-р техн. наук (МАИ), Россия  
**Туркин И.К.** д-р техн. наук (МАИ), Россия  
**Хрусталева Б.М.** д-р техн. наук (БНТУ), Беларусь  
**Чернышев А.В.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Шалай В.В.** д-р техн. наук (ОмГТУ), Россия  
**Шатров М.Г.** д-р техн. наук (МАДИ), Россия  
**Шахматов Е.В.** д-р техн. наук (Самарский университет), Россия  
**Шиганов И.Н.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Щерба В.Е.** д-р техн. наук (ОмГТУ), Россия  
**Юша В.Л.** д-р техн. наук (ОмГТУ), Россия  
**Fautrelle Yves** Prof., Dr.-Phys. (Grenoble Institute of Technology), France  
**Shuguo Wang** Prof. (Harbin Institute of technology), China  
**Nguyen Cong Dinh** Dr. Sc. (Eng.), Prof. (Le Quy Don Vietnam State Technical University), Vietnam  
**McMILLAN Alison** Dr. Sc. (Eng.) (Glyndwr University), Great Britain  
**Ceccarelli Marco** Prof. (UNICAS), Italy

В оформлении использованы  
шрифты Студии Артемия Лебедева

## Содержание

### Механика

#### П.П. Гайджуrow

Компьютерное моделирование процесса формоизменения структурно-регулярных стержневых систем . . . 3

#### А.Е. Белкин, И.Д. Бирюков

Определение сдвиговой жесткости заполнителя трехслойного стержня по известным значениям прогибов или частот собственных колебаний . . . 12

#### В.В. Черномас, Е.Б. Щелкунов

Натурное моделирование деформирования пористых материалов в кристаллизаторе установки вертикального литья и деформации металла . . . 23

### Машиностроение и машиноведение

#### Я.В. Лючев, А.В. Ключиков, С.В. Пчелинцева

Имитационное моделирование манипуляторов для решения задач планирования траекторий . . . 31

#### В.В. Скакун, Р.М. Джамалудинов, А.И. Алиев, Ю.А. Егоров

Качественные изменения поверхностного слоя металлорежущего инструмента с износостойким покрытием путем применения экологических смазывающих технологических сред . . . 41

#### О.С. Бучнев, С.Н. Гайсин, С.А. Зайдес

Оценка герметичности затворных узлов по результатам моделирования шероховатых поверхностей после шлифования одно- и пятидисковыми инструментами . . . 51

#### М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова

Разработка модели для оптимизации управления термической обработкой стали при непрерывном горячем оцинковании . . . 60

#### Н.Л. Великанов, В.А. Наумов

Удаление загрязненного воздуха вакуумной установкой с ветвлением . . . 82

#### Е.Ю. Носов, В.Е. Щерба, А.К. Кужбанов, В.Ю. Куденцов, Н.С. Галдин, М.И. Гильдебрандт, А.А. Гладенко

Разработка опытного образца поршневой гибридной энергетической машины объемного действия с регенеративным теплообменом и стенда для его исследования . . . 90

#### В.Е. Щерба, Г.И. Екимов

Анализ влияния объема газовой полости всасывания на работу поршневого компрессора с безнасосной системой охлаждения . . . 101

### Авиационная и ракетно-космическая техника

#### Дао Конг Чыонг, Чан Тхе Хунг, Нгуен Чанг Минь, Буй Ван Фыонг

Корректировка модели турбулентности для определения коэффициента сопротивления осесимметричной модели с лодочной хвостовой частью на транс- и сверхзвуковых скоростях . . . 111

#### С.Б. Пичугин

Обобщенная модель спутника-ретранслятора с функцией маршрутизации и межспутниковыми траекториями . . . 119

**Founder:** “Bauman Moscow State Technical University”

**Publisher:** Bauman Press,  
105005, Moscow, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1  
+ 7-499-263-69-50, 263-60-45  
press@bmstu.ru  
https://press.bmstu.ru

**Revision:**  
105005, Moscow, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1,  
BMSTU  
+7-499-263-63-54, izvuzmash@bmstu.ru  
www.ivvuzmash.ru

Published since 1958  
Issued monthly

Journal is included into the list of periodicals  
approved by RF Higher Attestation Commission  
for publication of competitors works for scientific  
degrees

The journal is included in RISC, platform Russian  
Science Citation Index Web of Science, EBSCO

Using materials reference is obligatory

Subscription index of the journal  
BMSTU Journal of Mechanical  
Engineering at 70370.  
The subscription also can be issued  
at the Agency «Ural-Press»  
+7-495-961-23-62, www.ural-press.ru

**Editor-in-Chief:** S.Gavryushin  
Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU)  
**Executive Secretary:** E. Andronova  
**Layout:** N. Berdavsava  
**Design:** A. Klyucheva

## Editorial Board:

**Artemiev B.V.** Dr. Sc. (Eng.) (SPECTR-GROUP), Russia  
**Bochkarev S.V.** Dr. Sc. (Eng.) (PNRPU), Russia  
**Vaulin S.D.** Dr. Sc. (Eng.) (SUSU), Russia  
**Galinovskii A.L.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Gribin V.G.** Dr. Sc. (Eng.) (MPEI), Russia  
**Grigoryants A.G.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Grubiy S.V.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Devyanin S.N.** Dr. Sc. (Eng.) (RSAU – MTAA), Russia  
**Enikeev R.D.** Dr. Sc. (Eng.) (USATU), Russia  
**Eremin E.N.** Dr. Sc. (Eng.) (OmSTU), Russia  
**Zubkov N.N.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Kaliakparov A.G.** Dr. Sc. (Eng.) (S. Toraighyrov Pavlodar State University), Kazakhstan  
**Kamaltudinov V.G.** Dr. Sc. (Eng.) (SUSU), Russia  
**Keller I.E.** Dr. of Physical and Mathematical Sciences (IMSS UrO RAS, Perm), Russia  
**Konovalov A.V.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Lyuminarsky I.E.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Markov V.A.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Poduraev Yu.V.** Dr. Sc. (Eng.) (MSTU «Stankin»), Russia  
**Pozhbelko V.I.** Dr. Sc. (Eng.) (SUSU), Russia  
**Prosuntsov P.V.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Reznik S.V.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Rusin M.Yu.** Dr. Sc. (Eng.) (NPK RTO), Russia  
**Sayapin S.N.** Dr. Sc. (Eng.) (IMASH RAN), Russia

**Serebryannikov S.V.** Dr. Sc. (Eng.) (MPEI), Russia  
**Sorokin F.D.** Dr.Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Timofeev G.A.** D.Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Timoshenko V.P.** Dr. Sc. (Eng.) (NPO Molniya), Russia  
**Timushev S.F.** Dr. Sc. (Eng.) (MAI), Russia  
**Turkin I.K.** Dr. Sc. (Eng.) (MAI), Russia  
**Khrustalev B.M.** Dr. Sc. (Eng.) (BNTU), Belarus  
**Chernyshev A.V.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Shalay V.V.** Dr. Sc. (Eng.) (OmSTU), Russia  
**Shatrov M.G.** Dr. Sc. (Eng.) (MADI), Russia  
**Shakhmatov E.V.** Dr. Sc. (Eng.) (Samara University), Russia  
**Shiganov I.N.** Dr.Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Shcherba V.E.** Dr. Sc. (Eng.) (OmSTU), Russia  
**Yusha V.L.** Dr. Sc. (Eng.) (OmSTU), Russia  
**Fautrelle Yves** Prof., Dr.-Phys. (Grenoble Institute of Technology), France  
**Shuguo Wang** Prof. (Harbin Institute of technology), China  
**Nguyen Cong Dinh** Dr. Sc. (Eng.), Prof. (Le Quy Don Vietnam State Technical University), Vietnam  
**McMILLAN Alison** Dr. Sc. (Eng.) (Glyndwr University), Great Britain  
**Ceccarelli Marco** Prof. (UNICAS), Italy

Used in the design fonts Lebedev Studio

## Contents

### Mechanics

<b>P.P. Gaidzhurov</b> Computer simulation of the forming process in the structurally regular core systems .....	3
<b>A.E. Belkin, I.D. Biryukov</b> Shear stiffness determination of the three-layer rod based on the deflections or natural frequencies known values .....	12
<b>V.V. Chernomas, E.B. Shchelkunov</b> Natural simulation of deformation in the porous materials in a crystallizer of the vertical casting and metal deformation system .....	23
<b>Mechanical Engineering and Machine Science</b>	
<b>Ya.V. Lyuchev, A.V. Klyuchikov, S.V. Pchelintseva</b> Simulation modeling of a manipulator for solving the trajectory planning problems.....	31
<b>V.V. Skakun, R.M. Dzhemalyadinov, A.I. Aliyev, Yu.A. Egorov</b> Qualitative changes in the surface layer of metal cutting tools with wear-resistant coating by using environmentally friendly lubricating technological environments .....	41
<b>O.S. Buchnev, S.N. Gaisin, S.A. Zaides</b> Assessing the gate assembly tightness based on the results of simulating rough surfaces after the one- and five-disc grinding .....	51
<b>M.Y. Ryabchikov, E.S. Ryabchikova</b> Model for optimizing control of the steel heat treatment in the continuous hot-dip galvanizing .....	60
<b>N.L. Velikanov, V.A. Naumov</b> Polluted air removal by a vacuum system with branching .....	82
<b>E.Yu. Nosov, V.E. Shcherba, A.K. Kuzhbanov, V.Yu. Kudentsov, N.S. Galdin, M.I. Gildebrandt, A.A. Gladenko</b> Development of a prototype of the piston hybrid energy machine of volumetric action with the regenerative heat exchange and a bench for its study .....	90
<b>V.E. Shcherba, G.I. Ekimov</b> Analysis of the influence of the volume of the gas suction cavity on the operation of a piston compressor with a pumpless cooling system .....	101

### Aviation, Rocket and Technology

<b>Dao Cong Truong, Tran The Hung, Nguyen Trang Minh, Bui Van Phuong</b> Adjustment of the turbulence model for determining drag coefficient of an axisymmetric boattail model at transonic and supersonic conditions .....	111
<b>S.B. Pichugin</b> Generalized model of a relay satellite with the routing function and the inter-satellite paths .....	119