

**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@bmstu.ru, https://bmstu.press

**Редакция:**

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

Издаётся 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 2023 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. Бердацева  
**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  
**Глазунов В.А.** д-р техн. наук (ИМАШ РАН), 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  
**Демихов К.Е.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 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  
**Марченко А.П.** д-р техн. наук (НТУ «ХПИ»), Украина

**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  
**Сильченко П.Н.** д-р техн. наук (СФУ), Россия  
**Сорокин Ф.Д.** д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Россия  
**Судник Л.В.** д-р техн. наук (НИИ ИП с ОП), Беларусь  
**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

### Машиностроение и машиноведение

**П.П. Гайджуров**

 Построение матриц жесткости объемных конечных элементов методом двойной аппроксимации  
и верификация программного обеспечения ..... 3

**С.И. Корягин, О.В. Шарков, Н.Л. Великанов**

 Влияние материала и состояния поверхностей на адгезионную прочность клеевого соединения  
при сдвиге ..... 12

**П.А. Ларюшкин, Е.М. Исполов, А.И. Долгих**

 Решение задачи о положениях и исследовании рабочей зоны плоского кинематически избыточного  
механизма параллельной структуры ..... 20

**А.В. Медовщиков**

Специфика исследования контактной усталости алюминиевых образцов ..... 29

**С.П. Круглов, С.В. Ковыршин**

 Адаптивное управление мостовым краном при переносе длинномерного вертикально  
расположенного груза ..... 34

**А.А. Лушкин, П.В. Круглов, И.А. Болотина**

 Совершенствование методического обеспечения для проектирования технологического процесса  
узловой сборки летательных аппаратов на основе применения гиперграфов ограничений ..... 45

**С.С. Волков, А.В. Коновалов, А.С. Панкратов, Ю.А. Михайлова**

Технологические особенности ультразвуковой резки с одновременной сваркой изделий из пластмасс ..... 53

### Энергетика и электротехника

**В.В. Грачев, А.В. Грищенко, Ф.Ю. Базилевский, М.В. Федотов, М.Н. Панченко**

Математическая модель процесса холодной прокрутки многоцилиндрового дизеля ..... 61

### Авиационная и ракетно-космическая техника

**Я.Ю. Пикалов, М.В. Брунгардт, Е.А. Спирин**

 Автоматизированные средства контроля сборочных операций космических аппаратов на основе  
системы тензометрических датчиков ..... 71

**Д.А. Фонарев, В.Д. Баскаков, М.А. Бабурин, О.В. Зарубина, В.А. Тарасов**

 Анализ напряженно-деформированного состояния тонкостенных корпусов соединителей  
при их изготовлении пластическим деформированием листового металла ..... 83

**Т.В. Гришанина, С.В. Русских, Ф.Н. Шклярчук**

 Применение метода сил для расчета пространственного движения манипулятора с массивным  
твердым телом с учетом упругости звеньев и поворотных приводов ..... 92

**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://bmstu.press

**Revision:**  
105005, Moscow, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1,  
BMSTU  
+7-499-263-63-54, izvuzmash@bmstu.ru  
www.ivzvmash.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. Berdavsseva  
**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  
**Glazunov V.A.** Dr. Sc. (Eng.) (IMASH RAN), 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  
**Demikhov K.E.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Enikeev R.D.** Dr. Sc. (Eng.) (USATU), Russia  
**Eremine E.N.** Dr. Sc. (Eng.) (OmSTU), Russia  
**Zubkov N.N.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Kaliakparov A.G.** Dr. Sc. (Eng.) (S. Toraihyrov 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  
**Kononov A.V.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Lyuminarsky I.E.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Markov V.A.** Dr. Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Marchenko A.P.** Dr. Sc. (Eng.) (NTU «KhPI»), Ukraine  
**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  
**Silchenko P.N.** Dr. Sc. (Eng.) (SFU), Russia  
**Sorokin F.D.** Dr.Sc. (Eng.) (BMSTU), Russia  
**Sudnik L.V.** Dr. Sc. (Eng.), (Pulse Processes with Pilot Production), Belarus,  
**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

### Mechanical Engineering and Machine Science

**P.P. Gaidzhurov**

Construction of stiffness matrices of volumetric finite elements by the double approximation method  
and software verification ..... 3

**S.I. Koryagin, O.V. Sharkov, N.L. Velikanov**

Material and surface condition influence on adhesive strength of the adhesive joint at shear ..... 12

**P.A. Laryushkin, E.M. Ispolov, A.I. Dolgikh**

Solving the working area positioning and studying problem in the kinematically redundant parallel  
structure mechanism ..... 20

**A.V. Medovshchikov**

Specifics in studying the aluminum contact fatigue ..... 29

**S.P. Kruglov, S.V. Kovyrrshin**

Bridge crane adaptive control in transferring a long vertically positioned load ..... 34

**A.A. Lushkin, P.V. Kruglov, I.A. Bolotina**

Methodological support improvement in the aircraft technological processes design  
based on using the constraint hypergraphs ..... 45

**S.S. Volkov, A.V. Kononov, A.S. Pankratov, J.A. Mikayilova**

Technological features of ultrasonic cutting with simultaneous welding of the plastic products ..... 53

### Energy and Electrical Engineering

**V.V. Grachev, A.V. Grischenko, F.Y. Bazilevsky, M.V. Fedotov, M.N. Panchenko**

Mathematical model of the multi-cylinder diesel engine dry starting process ..... 61

### Aviation, Rocket and Technology

**Y.Y. Pikalov, M.V. Brungardt, E.A. Spirin**

Automated means to control the spacecraft assembly operations based on a strain-gauge  
sensor systems ..... 71

**D.A. Fonarev, V.D. Baskakov, M.A. Baburin, O.V. Zarubina, V.A. Tarasov**

Stress-strain state analysis of the thin-walled connector housings at their manufacture by the sheet metal  
plastic deformation ..... 83

**T.V. Grishanina, S.V. Russkikh, F.N. Shklyarchuk**

Force method application in calculating spatial motion of a manipulator with the massive solid body  
taking into account the links and rotary drives elasticity ..... 92