



International Conference
“Modern Problems in Modeling Materials
for Mechanical, Medical, and Biological
Applications”
(MPMM&A-2021)

Theses of reports
(September 26 - October 1, 2021,
Rostov-on-Don, Divnomorskoye)

Rostov-on-Don
2021

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

DON STATE TECHNICAL UNIVERSITY
(DSTU)

LABORATORY "FUNCTIONALLY GRADIENT AND COMPOSITE
MATERIALS", DSTU

LABORATORY "MECHANICS OF BIOMATERIALS", DSTU

DEPARTMENT "THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS", DSTU

International conference
**“Modern Problems in Modeling Materials for Mechanical,
Medical, and Biological Applications”**
(MPMM&A-2021)

Theses of reports
(September 26 - October 1, 2021, Rostov-on-Don, Divnomorskoye)

Rostov-on-Don
DSTU
2021

УДК 539.3

М 34

М 34 Modern Problems in Modeling Materials for Mechanical, Medical, and Biological Applications (MPMM&A-2021): Theses of the reports of the international conference (September 26 - October 1, 2021, Rostov-on-Don, Divnomorskoye) / Don State Technical University; Editor A.A. Matrosov, A.N. Soloviev. – Rostov-on-Don: DSTU, 2021. – 32 с.

ISBN 978-5-6047140-7-2

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на международной конференции “Modern Problems in Modeling Materials for Mechanical, Medical, and Biological Applications” (MPMM&A-2021) («Современные проблемы моделирования материалов для механических, медицинских и биологических приложений» (СПММ-2021)).

Конференция была посвящена рассмотрению результатов работ, полученных в следующих областях: контактные задачи теории упругости для сред со сложными механическими свойствами; моделирование твердых биологических тканей; моделирование мягких биологических тканей; моделирование композиционных материалов; моделирование элементов строительных конструкций; моделирование пьезоактивных материалов.

Материалы публикуются в авторской редакции.

International conference “Modern Problems in Modeling Materials for Mechanical, Medical, and Biological Applications” (MPMM&A-2021) (September 26 - October 1, 2021, Rostov-on-Don, Divnomorskoye) was supported by a grant from the Government of the Russian Federation no. 14.Z50.31.0046.

Международная конференция «Современные проблемы моделирования материалов для механических, медицинских и биологических приложений» (СПММ-2021) (26 сентября – 1 октября 2021, Ростов-на-Дону, Дивноморское) поддержана грантом правительства Российской Федерации № 14.Z50.31.0046.

УДК 539.3

ISBN 978-5-6047140-7-2

© Донской государственный
технический университет, 2021

Международная конференция «Современные проблемы моделирования материалов для механических, медицинских и биологических приложений» (СПММ-2021) (26 сентября – 1 октября 2021, Ростов-на-Дону, Дивноморское) поддержана грантом правительства Российской Федерации № 14.Z50.31.0046.

International conference “Modern Problems in Modeling Materials for Mechanical, Medical, and Biological Applications” (MPMM&A-2021) (September 26 - October 1, 2021, Rostov-on-Don, Divnomorskoye) was supported by a grant from the Government of the Russian Federation no. 14.Z50.31.0046.

Состав программного комитета конференции

Месхи Б.Ч., Ростов-на-Дону – председатель программного комитета
Айзикович С.М., Ростов-на-Дону – заместитель председателя
Свэйи М.В., Сидней, Австралия – заместитель председателя
Бауэр С.М., Ростов-на-Дону
Ватульян А.О., Ростов-на-Дону
Глушков Е.В., Краснодар
Гузев М.А., Владивосток
Еремеев В.А., Гданьск, Польша
Карякин М.И., Ростов-на-Дону
Наседкин А.В., Ростов-на-Дону
Пожарский Д.А., Ростов-на-Дону
Рудой Д.В., Ростов-на-Дону
Чебаков М.И., Ростов-на-Дону

Состав организационного комитета конференции

Соловьев А.Н., Ростов-на-Дону – председатель организационного комитета
Ольшевская А.В., Ростов-на-Дону – заместитель председателя
Власова И.Э., Ростов-на-Дону
Глушко Н.И., Ростов-на-Дону
Егорова А.А., Ростов-на-Дону
Матросов А.А., Ростов-на-Дону
Нижник Д.А., Ростов-на-Дону
Садырин Е.В., Ростов-на-Дону
Угрехелидзе Н.Т., Ростов-на-Дону

Айзикович Сергей Михайлович
К 70-летию со дня рождения



Сергей Михайлович Айзикович в 1973 году окончил кафедру теории упругости Ростовского государственного университета. Руководителями его дипломной работе были академик Иосиф Израилевич Ворovich и Леонид Петрович Лебедев. Трудовую и научную деятельность начал в Научно-исследовательском институте механики и прикладной математики Ростовского государственного университета. В 1980 году защитил кандидатскую диссертацию под руководством Виктора Михайловича Александрова, а затем в 2003 г. получил степень доктора физико-математических наук, защитив диссертацию на тему «Контактные задачи теории упругости для неоднородных сред».

В Донском государственном техническом университете С.М. Айзикович работает с 2009 года. В настоящее время он возглавляет лабораторию функционально-градиентных и композиционных материалов научно-образовательного центра «Материалы» и является профессором кафедры «Теоретическая и прикладная механика». В сферу его научных интересов входят: механика контактных взаимодействий, в том числе, для функционально-градиентных материалов; интегральные уравнения математической физики, а в последнее время биологические и медицинские проблемы механики.

Он опубликовал более сотни статей в рецензируемых журналах и несколько монографий, патентов и зарегистрированных компьютерных программ. Награжден наградами правительств Советского Союза, Российской Федерации, Ростовской области и другими наградами. Является руководителем целого ряда грантов. Он является членом Российского национального комитета по теоретической и прикладной механике. Является рецензентом центральных международных журналов по механике ведущих издательств. Является экспертом ВАК, РНФ, РФФИ, РАН.

Желаем Сергею Михайловичу крепкого здоровья, покорения новых вершин в жизни, в науке и в горах.

Оргкомитет конференции

Statistical Impact Assessment Some Parameters of Eyeballs on the Change of Intraocular Pressure After Intravitreal Injections

Bauer S.^{1,2*}, Voronkova E.^{1,2}, Kornikov V.¹, Kotliar K.³

¹*Saint-Petersburg State University, 7-9 Universitetskaya Embankment, 199034, Saint-Petersburg, Russia*

²*Don State Technical University, Research and Education Center (REC) "Materials", sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia*

³*Department of Medical Engineering and Technomathematics, FH Aachen, Campus Jülich, Heinrich-Mussmann-Str. 1, 52428 Jülich, Germany*

**s.bauer@spbu.ru*

Nowadays, intravitreal injections (IVIs) are of extensively use to treat human ocular diseases. An intravitreal injection method is relatively simple and, this factor, together with new drugs available in the 21st century, has led to the wide application of this method and extraordinary expansion of the number of intravitreal injections [1, 2]. The most dangerous complication under intravitreal injection is vision loss associated with an increase in intraocular pressure (IOP).

The purpose of our study is to estimate the impact of ocular parameters on the change of IOP after IVI using statistical analysis.

The absolute IOP values 30 s before and 10 s after IVI were used to calculate IOP increase due to the injection ($\Delta V = 0.05$ ml). The following measurements were performed before the injections: axial length, central corneal thickness and curvature. Scleral thickness was measured 5 mm from the corneal limbus.

Statistical analysis of the data was carried out using the statistical package SPSS 27. Correlations between the studied variables were calculated using various coefficients. It follows from the obtained results that there is a strong direct correlation between the change of IOP and axial length. The correlation between the change of IOP and thickness of sclera is less important, but also statistically significant. The correlation between IOP change and corneal parameters is negligible.

Acknowledgements: This research was supported by the Government of Russia grant no. 14.Z50.31.0046.

References

- [1] deVries, V.A., Bassil, F.L. & Ramdas, W.D. The effects of intravitreal injections on intraocular pressure and retinal nerve fiber layer: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 10, 13248 (2020). doi: 10.1038/s41598-020-70269-7
- [2]. Kotliar K, Maier M, Bauer S, Feucht N, Lohmann C, Lanzl I. Effect of intravitreal injections and volume changes on intraocular pressure: clinical results and biomechanical model. *Acta Ophthalmol Scand.* 85(7) (2007) 777-781. doi: 10.1111/j.1600-0420.2007.00939.x.

Semi-inverse Boundary Value Problems for Layered Media

Galybin A.N.^{1,2*}

¹*Schmidt Institute of Physics of the Earth (RAS), B. Gruzinskaya 10-1, 123995, Moscow, Russia*

²*Don State Technical University, sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia*

**a.n.galybin@gmail.com*

This study presents four incorrectly posed boundary value problems (BVP) for layered media. In 2D case the well posed formulations require two conditions to be given on each side of the layer. Inverse formulation deals with the BVP is of the Cauchy type and assumes that all for conditions are given on one side of the layer and no conditions on the other side. We investigate the semi-inverse BVP in which one condition is given on one side and three conditions on the other side. Four possible formulations of such BVP are considered.

The Fourier transform is used to find analytical solutions in all four BVP. It is shown that the inverse Fourier transform is not directly applicable but requires reduction to integral equations of the Fredholm type of the first kind. The latter possesses non-stable solutions. Therefore we discuss some numerical approaches based on regularization techniques in order to obtain stable solutions.

Acknowledgement: This work was supported by the grant of the Government of the Russian Federation No. 14.Z50.31.0046.

Poroelastic Model of the Scleral Layer for Solving Problems of Ophthalmology

Kucherenko D.V.^{1*}, Wilde M.V.², Bauer S.M.¹

¹*Saint-Petersburg State University, 7-9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia*

²*Saratov State University, 83, Astrakhanskaya st., Saratov, 410012, Russia*

**denismbl@mail.ru*

Many biological structures in one way or other are solid bodies saturated with physiological fluid. For a correct description of the processes occurring inside the scleral layer after an intravitreal injection, it is proposed to use the poroelastic transversely isotropic model based on the theory of poroelasticity described in [1]. The proposed model develops the ideas outlined in [2] by using two-phase bodies and specified boundary conditions.

Static and dynamic problems for a spherical layer are considered in this research. In the static problem, the gradient of the pressure is set to zero to describe the long-time state of the layer. The outer surface is supposed to be free from external forces and impenetrable. Two types of boundary conditions are considered on the inner surface. 1. An impenetrable boundary with a given displacement calculated on the basis of the incompressibility of the injected fluid. 2. A permeable boundary with a given displacement, containing an unknown change due to the penetration of intraocular fluid into the scleral layer. In the first problem, an unknown change of pore pressure is determined from the condition of the conservation of the pore fluid volume. In the second one, it is assumed that the change in pore pressure is equal to an increase in intraocular pressure (IOP) (communicating vessels). An unknown change in displacement is determined from the condition that the change of the volume of intraocular fluid is equal to the volume of fluid that has penetrated the poroelastic layer.

The solution of the static problem allows to assess the raise of IOP after drug administration and adjust the parameters of the model to match the calculated IOP with the clinical data. As in [2], it is shown that the elastic modulus in the transverse direction must be significantly lower than in the tangential direction. The most important difference with the model [2] consist in considerable changes of the dependence of the radial displacement on the radial coordinate. It is caused by penetration of the fluid to the outer surface of the layer. This effect leads to a different thickness of the scleral layer after the injection.

In the dynamic problem, the movement of the pore fluid governed by Darcy's law is taken into account. Boundary conditions are formulated as those of the first type in the static problem. In the dynamic case, no additional condition is required. The problem is solved using the Laplace transform. The time-dependence of a given injection volume is taken in the form of Heaviside function for the theoretical consideration. Asymptotic analysis is performed to obtain short-time and long-time solutions. The values of pore pressure, radial fluid flows, the increase of IOP after injection and changes in the thickness of the scleral layer were evaluated. It is shown that the abrupt administration of the injection may result in dynamic raise of the IOP, which is higher than the static one.

To sum up, the use of a poroelastic model makes it possible to capture new structural effects within the scleral layer during the intravitreal injection, such as the penetration of the intraocular fluid into the scleral layer and dynamic raise of IOP. To take these effects into account may be important for preventing of pathological processes after injection.

Acknowledgements: This research was supported by the Government of Russia grant no. 14.Z50.31.0046.

References

- [1] Maslov, L. B. Finite-element poroelastic models in biomechanics / L. B. Maslov. – St. Petersburg: Lan, 2013. – 236 p. (in Russian).
- [2] Bauer, S. M. [et al.] Model of the transversely isotropic spherical layer for estimation of intraocular pressure changes after intravitreal injections // Russian Journal of Biomechanics. – 2006. – T. 10, No. 2. – P. 41-47 (in Russian).

Modelling of the Indentation of Functionally Graded Biological Materials

Lapina P.A.

Don State Technical University, sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia
polina_azarova86@mail.ru

Determination of the physical and mechanical properties of biological tissues is one of the main tasks in the selection of materials for the production of implants for prosthetics in medicine. It is natural to require that the physical and mechanical properties of these materials correspond the properties of biological tissues. In the production of implants, both homogeneous, isotropic and coated, multilayer, biocompatible materials are used. In dentistry, implants from titanium alloy, zirconium dioxide, ceramics based on hydroxyapatite and its analogs are used.

The work proposes a method for determining the parameters of the exponential Young's modulus of a functionally graded material of a half-space on the basis of indentation of the half-space by a strip rigid indenter. Mathematical modeling of the indentation process consists of the formulation and solution of the contact problem of the indentation of a rigid strip indenter with a flat base into a functionally graded half-space with Young's modulus exponentially varying along the depth of the material. The spatial three-dimensional contact problem is reduced to a plane contact problem. The integral equation of the plane contact problem is an integral equation of the first kind of the Fourier convolution type with a difference kernel. The solution of the integral equation is constructed by asymptotic methods. Analytical representations of contact stresses and surface displacements outside the contact area are used to solve the problem of determining the parameters of the exponential Young's modulus of a functionally graded half-space.

Comparison of the main characteristics of the indentation process obtained as a result of the experiment with theoretical values allows one to determine the parameters of the Young's modulus of a functionally graded material. On the set of parameters of the problem, the domains of existence and uniqueness of solutions of the problem of determining the parameters of the Young's modulus exponentially varying with depth are determined.

Acknowledgements: **This work was supported by the grant of the Government of the Russian Federation No. 14.Z50.31.0046.**

Modeling of Impact of Acoustic Field on Biological Fluid with Cryoprotector

Matrosov A.A.^{1*}, Nizhnik D.A.¹, Ponomareva E.N.^{1,2,3}, Soloviev A.N.¹, Chebanenko V.A.²

¹Don State Technical University, sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia

²Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, pr. Chekhova, 41, Rostov-on-Don, 344006 Russia

³Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., 16, Astrakhan, 414056, Russia

*amatrosov@donstu.ru

In order to develop a new technology for low-temperature preservation of fish reproductive cells, and in particular sturgeon fish, mathematical modeling of acoustic effects on biological objects was carried out. The suspension (mixture of sex cells with cryoprotective medium) is in a standard glass laboratory low graded beaker and modeling by homogeneous liquid medium with averaged parameters.

Immediately before cryofreezing, acoustic waves are created in the suspension at the equilibration stage to better penetrate the cryoprotector into the cell. These waves are excited by piezoactuators (piezoelectric elements with electrodes applied to their surface) [1, 2].

To determine the most effective influence of the suspension on cells, a number of tasks were considered that differ in the locations of the piezoactuators:

– two piezoactuators glued to outer cylindrical surface of cup with suspension;

– two flat piezoactuators are located parallel to each other inside a cup with a suspension, electrodes are passed through a polypropylene cover;

– one piezoactuator glued outside to bottom of glass with suspension (Fig. 1).

Interaction of piezoactuator with cryoprotector mixture with biological medium is carried out within the framework of linear theory of electroelasticity and acoustic medium.

Using ACELAN finite element analysis software [3], modal analysis was performed, resonant frequencies were found, electromechanical coupling coefficient was determined, field of velocities and pressures in acoustic medium was studied.

Steady-state vibrations are considered in the frequency range permissible for biological objects. To obtain the maximum effect of cryoprotector penetration into the sex cells, the geometry of the piezoactuator, its position, as well as the volume of the cup with the suspension were optimized.

Acknowledgements: This research was supported by the Russian Foundation for Scientific Research grant no. 21-16-00118.

References

- [1] Matrosov A.A., Ustinov Yu.A. Homogeneous solutions of the problem of steady vibrations of a piezoceramic cylinder // Journal of Applied Mathematics and Mechanics, Vol. 48, № 6, 1984. – Pp. 770-773.
- [2] Matrosov A.A., Soloviev A.N. Numerical and analytical methods of solving problems on steady oscillations of electroelastic bodies // Mechanics of deformable bodies. – Rostov-on-Don, 1994. – Pp. 45-49.
- [3] Belokon A., Nasedkin A., Solovyev A. New schemes for the finite-element dynamic analysis of piezoelectric devices // Journal of Applied Mathematics and Mechanics, № 66 (3), 2002. – Pp. 481-490.



Fig. 1. Standard laboratory glass with piezoelement glued to the bottom

Study of Quality of Conditions for Achievement of Measurement Results During Construction and Technical Examination

Nalimova A.V.¹, Serebryanaya I.A.^{1*}, Serebryanaya D.S.²

¹*Don State Technical University, sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia*

²*South Russian Institute of Management branch of the Russian Academy of National Economy and the State Service under the President of the Russian Federation, Pushkinskaya, 70/54, Rostov-on-Don, 344002, Russia*

**silveririna@mail.ru*

Construction and technical expertise is implemented in order to identify inconsistencies, defects, violations that arose as a result of various reasons: poor quality of construction materials; unsatisfactory construction works; improper operation of construction facilities. Such examination is a complex of engineering and technical research, including [1]:

– assessment of compliance of documentation (design, technical, as-built, etc.) with requirements of various regulatory documents;

– check of technical parameters and characteristics of construction facilities for compliance with design documentation, requirements of regulatory and legal acts, technical regulations in force in Russia.

The evidentiary significance of the expert's conclusion is established by such indicators as: consistency of regulatory documents; accuracy of all actions and operations; a competent choice of methods and means of measurement; correct formulation of conclusions; following methodological justification. Errors made by the expert lead to a decrease in the evidentiary strength of the conclusion or make its use impossible at all [2]. This confirms the need for competent and competent construction and technical research.

In the work, using statistical methods, the conditions for achieving reliability and stability of the test results conducted by the expert in the laboratory were modeled. An assessment of the impact of expert qualifications on these indicators was also carried out.

The most common examination was accepted as the object of the study - a technical survey of civilian buildings. The results on evaluation of strength properties of concrete obtained in laboratory on determination of stress-strain state of material were used. The examination was carried out by three experts using instruments and tools that ensure the required accuracy.

Analysis of quality of results carried out by 3 factor dispersion method [3] showed:

1. Measurement system "Object (building structures) - expert - instrument" is acceptable under conditions of modeling expert center;

2. Expert qualification for test results has no significant impact.

Statistical estimates of test results obtained by variance analysis confirmed the validity of the results, their reproducibility and sufficient accuracy.

References

[1] I.A. Serebryanaya, I.O. Egorochkina, E.A. Shlyakhova, A.A. Matrosov, D.S. Serebryanaya. Integrated construction and technical structural analysis of the industrial buildings // IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering. Vol. 913 (2020) 022071.

[2] Egorochkina I.O., Serebryanaya I.A., Shlyakhova E.A., Matrosov A.A., Maltseva I.A., Likhneva Yu.N. Development of a program of comprehensive construction and technical examination of industrial building structures // Engineering Journal of Don, 2 (62), 2020. – Pp. 40.

[3] Serebryanaya I.A., Vinogradova E.M., Abramovskaya D.A. Development of quality management system process performance monitoring procedure // Engineering Journal of Don, 5 (56), 2019. – Pp. 37.

Modeling of the Stressed-Deformed State of Brickwork from Bricks of Various Voids

Nizhnik D.A., Matrosov A.A. *, Serebryanaya I.A.

Don State Technical University, sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia

* *amatrosov@donstu.ru*

The widespread use of brick for construction is due to a number of reasons: its price compared to concrete and wood; simplicity of manufacturing technology; security; durability, beauty and environmental friendliness.

The process of making ceramic bricks is improving every year. Handmade bricks, textured bricks with smooth or uneven edges, shaped bricks with different profile configurations appear on the market. The properties of different bricks vary depending on the purpose, components used, and shape of the product. In this regard, there is a need for appropriate strength calculations.

This work solves the problem of determining stresses and deformations that occur in some types of brickwork [1, 2].

Namely, options are considered when brickwork is composed of classic rectangular bricks of various voids (the ratio of the volume of voids to the total volume of the entire brick): full-body brick; 3-void brick with a void of 15 %; brick 18-void with a void of 29 %.

It is accepted that the brick bed (lower masonry surface) is rigidly fixed on an absolutely solid base. Side surfaces of masonry are free from stresses. A uniformly distributed load is applied to the upper surface. In the zone of contact of brick and mortar, nonlinear contact interaction is assumed. At the same time, any separation of contact surfaces in the normal direction is not allowed, but a slight relative sliding between them is allowed.

Numerical modeling of brickwork was carried out in the software complex of finite-element analysis ANSYS in the package Static Structural [3]. Stress-strain state of brick and solution depends on ratio of corresponding characteristics, such as modulus of elasticity and Poisson coefficient.

As a result of numerical calculations, stresses and strains arising in masonry are determined. The results of the calculations showed that the stress-strain state values with the same load do not differ by more than 5%. This allows us to conclude that bricks with different voids are not inferior in reliability to full-body samples.

References

- [1] Lukinova N.A., Matrosov A.A., Nizhnik D.A., Serebryanay I.A., Terekhina Yu.V. Analysis of manual brick surface parameters and their impact on compression strength assessment // Innovative Technologies in Science and Education «ITSE-2017». – Rostov-on-Don, DSTU, 2018. – P. 180-181.
- [2] Poryadina N.A., Serebryanay I.A. Statistical analysis of the applicability of the alternative test method for axial compression strength // Innovative Technologies in Science and Education “ITSE-2018”. – Rostov-on-Don, DSTU, 2018. – P. 187-190.
- [3] Matrosov A.A., Serebryanay I.A., Lukinova N.A., Nizhnik D.A., Terekhina Yu.V. The Calculation of the Stress-Strain State in Masonry with Various Types of Bricks // International Conference on "Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA)". – Busan, South Korea, 2018. – P. 238.

Modeling Ultrasonic Medical Devices Using Piezoactive Composite Materials

Oganesyan P.A.¹, Skaliukh A.S.¹, Solovieva A.A.^{1,2*}, Epikhin A.N.^{2,3}

¹*Southern Federal University, 8a Milchakova St., Rostov-on-Don, 344090 Russia*

²*Don State Technical University, sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia*

³*Rostov State Medical University, st. Nakhichevan, 29, Rostov-on-Don, 344022, Russia*

*microsol@list.ru

Piezoelectric elements are widely used in medical technology as a source of acoustic waves or a drive for a specific instrument. One of the conditions for such an application is the compliance of the operating frequency range that does not harm human health. One of the ways to achieve this goal is to use piezo-active composite materials, in particular, porous piezo-ceramics [1].

In this work, the modeling of the lensotome tip is carried out. This instrument is used at the first stage of lens replacement surgery, namely, when a cloudy lens is destroyed and removed. Unlike the existing analogs of the device (Epikhin A.N. Method of destruction and removal of the lens of the eye by lever-power cutting - vectopotential lensectomy and a device for its implementation - lever-power lens cutter - vectopotential lensotome disposable. RF Patent RU 2720822 C1. Application: 2019117639, 06.06.2019) a piezoelectric handpiece drive is offered.

The structure is a hollow cylinder, the lower end of which is connected to a piezoelectric element, the upper end is working and is in contact with the destructible lens. Modeling is carried out within the framework of the linear theory of electroelasticity and acoustic medium.

For the proposed model of the lensotome tip with a piezoelectric drive, a mathematical and finite element model has been built for two cases of boundary conditions at the lower end of the tool: free end and rigid fixation. In both cases, natural frequencies and electro-mechanical coupling coefficient are calculated and natural vibration modes are found. An analysis of these results shows that in the first case, the first mode is preferable, taking into account the restrictions on the frequency value, and in the second case, the first and second modes. The found higher effective frequencies and vibration modes do not satisfy the limitation on the value of the operating frequency.

Acknowledgements: The work was supported by the Government of the Russian Federation, contract No. 14.Z50.31.0046.

References

[1] Kurbatova N.V., Nadolin D.K., Nasedkin A.V., Oganesyan P.A., Soloviev A.N. Finite element approach for composite magneto-piezoelectric materials modeling in ACELAN-COMPOS package // Analysis and Modelling of Advanced Structures and Smart Systems. Series "Advanced Structured Materials". 2018. Vol. 81. – Pp. 69-88.

Finite Element Modeling and Experimental Strength Test of Ceramic Bricks

Poryadina N.A., Serebryanaya I.A., Matrosov A.A.*

Don State Technical University, sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia

* *amatrosov@donstu.ru*

When conducting tests of building materials, the issue of reducing systematic errors is a pressing issue. Thus, during compression strength tests of ceramic brick samples, uneven triaxial compression occurs as the main type of stressed-deformable state. Volumetric stress state is caused by presence of contact friction forces between sample and die, which in its turn leads to overstatement of strength indices [1]. The work analyzes the change in the stress-strain state of samples during tests depending on one of the varying parameters - the method of preparing the surface for tests.

Various methods of preparing the brick surface for compression strength tests are regulated by national standards. Such methods include, for example, using technical felt pads, plywood pads or simply grinding samples as a leveling layer.

In this work, a finite element modeling of the stress-strain state of a manual brick is performed [2, 3]. Modeling was carried out using the software complex of finite-element analysis ANSYS. It has been found that samples aligned with felt pads show less strength than other surface preparation methods.

Such results are associated with a decrease in the effect of the friction force, which in this case does not prevent the development of transverse deformations of the sample until the moment of breaking the brick. The results of the numerical experiment are well consistent with the results of the full-scale experiment.

References

- [1] Serebryanaya I.A., Terekhina Yu.V., Lukinova N.A. The influence of surface parameters of ceramic bricks on the limit value of the compressive strength // International Conference on “Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA)”. – Surabaya, Indonesia, 2016. – Pp. 237-238.
- [2] Lukinova N.A., Serebryanaya I.A. Development of Manual Brick Compression Strength Determination Methodology // Young Researcher Don. 2016. № 2. – Pp. 6-8.
- [3] Poryadina N.A., Matrosov A.A., Nizhnik D.A., Serebryanaya I.A. Development of a model of deformation of a sample of wall material during compression strength tests // Construction and Architecture – 2017. – Rostov-on-Don, 2017. – Pp. 124-127.

Topological Optimization of Functional Prosthesis with Neurophysiological Control System

Semenchatenko I.V., Matrosov A.A.*

Don State Technical University, sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia

*amatrosov@donstu.ru

Currently, the progressive method is additive manufacturing, that is, printing on the 3D printer of the finished part using the original digital CAD model. A preliminary step is to prepare the model for mass production by topological optimization. In this case, the target function to be minimized is usually the time of manufacture of the part, its mass, volume, amount of material used, etc., provided that the strength characteristics are maintained [1, 2].

In operation, topological optimization is applied to the cantilever attachment used in the bionic prosthesis of the limb with a neurophysiological control system. The material used is Nylon 6. In this case, the mass of the obtained product is critical, which contributes to an increase in the autonomy of the prosthesis.

The integrated cloud CAD/CAE/CAM tool Autodesk FUSION 360 was used. During the CAD phase (Design), a fastener model was created. In the CAE (Engineering Analysis) step, a finite element mesh is generated and strength calculation is performed. At the CAM (Manufacturing) stage, the model was prepared for printing on a 3D printer.

Strength calculation was carried out twice – before and after topological optimization [3]. Prior to topological optimization, the safety factor is 6.2. After performing topological optimization, the safety factor was 4.5.

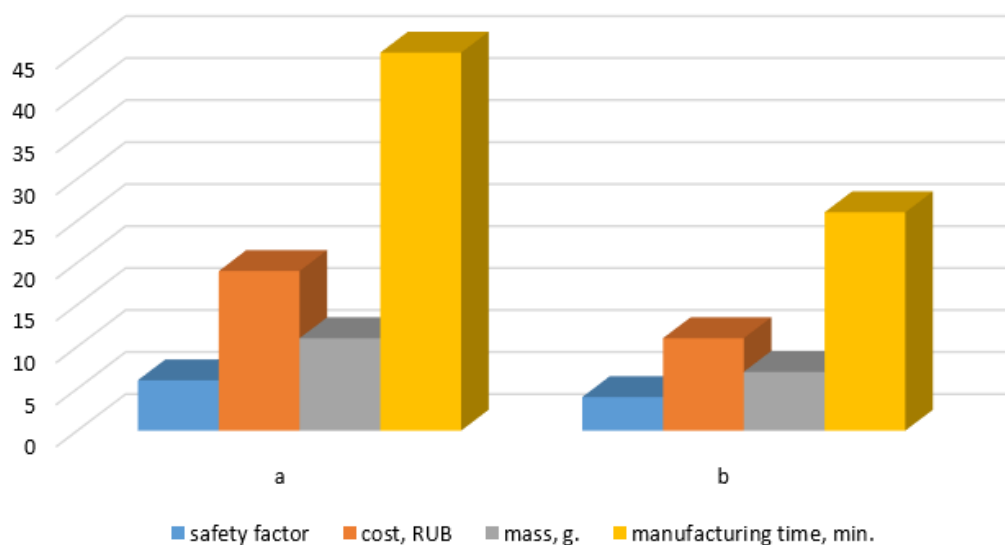


Fig. 1. Topological Optimization Results

Topological optimization made it possible (Fig. 1): to reduce the mass of the product by 37% without losing strength characteristics; reduce production time by 30%; Reduce material cost by 43%.

References

- [1] Semenchatenko I.V., Matrosov A.A., Nizhnik D.A. Topological Optimization Usage and Model Building Steps // Current problems of science and technology. 2020. – Rostov-on-Don: DSTU, 2020. – Pp. 1447-1448.
- [2] Semenchatenko I.V., Matrosov A.A., Nizhnik D.A. Using Topological Optimization to Prepare 3D Model for Production // Status and prospects of agro-industrial complex development (INTERAGROMASH). – Rostov-on-Don: DSTU, 2021. – Pp. 79-82.
- [3] Semenchatenko I.V., Matrosov A.A. Optimization of machine console support with numerical control // Intelligent Technologies and Mathematical Modeling Challenges (IT&PMM-20). – Rostov-on-Don: DSTU, 2020. – Pp. 61-62.

Modelling of Steel Structures Failures at Various Stages of the Life Cycle

Serebryanaya I.A.* , Shlyakhova E.A., Egorochkina I.O.

Don State Technical University, sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia

**silveririna@mail.ru*

The steel structures used in the construction of buildings and structures were a popular and effective building material. However, despite favorable forecasts for further growth in construction volumes and a corresponding increase in the use of metal structures, there were statistics on deformation, damage and collapse of structures, which were repeated according to one-type scenarios. In this regard, the task of studying the causes leading to damage to steel structures is urgent.

In the framework of this work, in order to minimize failures of metal structures, the conditions for defects at various stages of the life cycle of the structure [1, 2] were modeling. In conducting the study were used:

- natural examination using destructive and non-destructive testing methods;
- modeling using the software set of finite-element analysis ANSYS [2, 3].

It was revealed that the main defects of steel structures can include: structural, arising from design errors; production and construction related to the use of low-quality materials, non-compliance with construction and installation works, etc.; operational, caused by corrosion processes, changes in structural loads, etc.

As the analysis of the obtained results [3] showed, one of the problems leading to failures is errors embedded in the design. Since the man-machine system (designer - computing) acts as an executor when using CAD, the requirements for the executor are a set of requirements for its component parts. To increase the productivity of the designer in order to obtain reliable and up-to-date information required for the implementation of the design stages, it is necessary to create an information space. To do this, you need to:

- collect all information in the form of forms, documents and technical solutions, providing the level of information support necessary and sufficient for the implementation of the selected design direction;
- systematize the obtained information ensuring the permissible (minimum) level of labor costs for searching for the required information, as well as for implementing the found information in the form of newly developed technical solutions.

References

- [1] Serebryanaya I.A., Vinogradova E.M., Abramovskaya D.A. Development of quality management system process performance monitoring procedure // *Engineering Journal of Don*, 5 (56) (2019). – Pp. 37.
- [2]. Serebryanaya I.A., Egorochkina I.O., Shlyakhova E.A., Matrosov A.A., Serebryanaya D.S. Integrated construction and technical structural analysis of the industrial buildings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 913 (2020) 022071.
- [3] Shlyakhova E.A., Serebryanaya I.A., Serdyukova A.V., Pigalev D.A., Serebryanaya D.S. Quality assessment of construction products // *Engineering Journal of Don*, 12 (72) (2020).. – Pp. 44-51.

Analytical Models of Vibration of Piezomagnetolectric Plates

Soloviev A.N.^{1,2*}, Chebanenko V.A.³, Do Thanh Binh^{1,4}, Kirillova E.V.⁵

¹Don State Technical University, sq. Gagarin, 1, Rostov-on-Don, 344010 Russia

²Southern Federal University, 8a Milchakova St., Rostov-on-Don, 344090 Russia

³Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, pr. Chekhova, 41, Rostov-on-Don, 344006 Russia

⁴Le Quy Don University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

⁵RheinMain University of Applied Sciences, Wiesbaden, Germany

*solovievarc@gmail.com

The article deals with transverse steady-state vibrations of piezoactive bimorphs, which are an element of a device for collecting and storing electrical energy. Piezoelectric ceramics, piezomagnetic material, or composite having a piezomagnetolectric effect are considered as piezoactive materials. The device is a round or rectangular multilayer plate, which is in an alternating magnetic field and performs bending vibrations due to the presence of a piezomagnetic layer. Due to the bending on the electrodes of the piezoelectric layer, an electrical potential difference arises, which, if connected to an external electrical circuit, serves to collect and accumulate electrical energy.

The mathematical model of the problem under consideration is the boundary value problem of the linear theory of magnetoelastoelectricity [1]. On the basis of Hamilton's variational principle and Kirchhoff's hypotheses about the distribution of the mechanical field, the quadratic distribution of the electric and magnetic fields, two applied theories of vibrations of bimorphs are constructed, consisting of two layers: one piezoelectric layer, the other piezomagnetic; both layers are piezomagnetolectric.

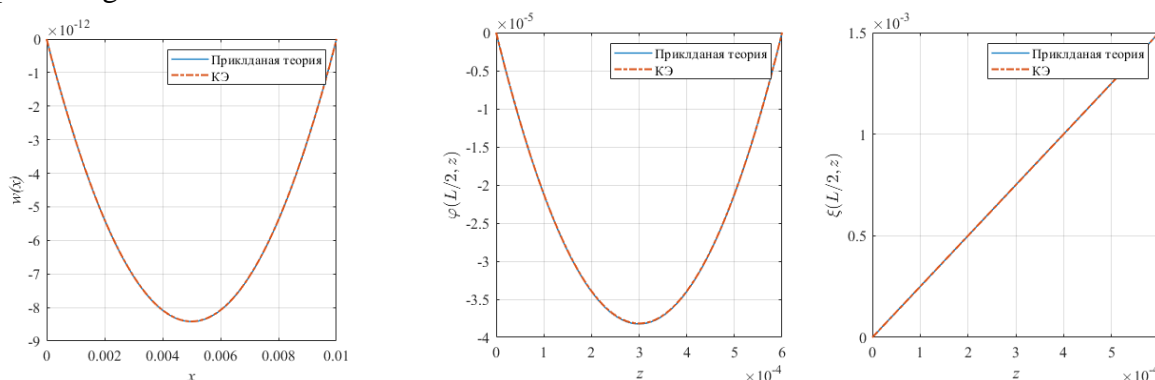


Fig. 1. Comparison of the distribution of the deflection along the length (left), electric (center) and magnetic (right) potentials in the center of the bimorph along the thickness

To verify the theory obtained for the second case, a model of the bimorph described above was built in the FlexPDE finite element package for the plane problem. Analysis of the results of calculating the main characteristics of the piezomagnetolectric bimorph allows us to conclude that the proposed applied theory is in good agreement with the finite element calculation in the low-frequency region, the error does not exceed 1%.

Acknowledgements: The work (first author) was supported by the Government of the Russian Federation, contract No. 075-15-2019-1928. The second author carried out work within the framework of the implementation of the State Research Center of the Russian Academy of Sciences (No. of state registration project AAA-A-A16-116012610052-3).

References

1. Kurbatova N.V., Nadolin D.K., Nasedkin A.V., Oganessian P.A., Soloviev A.N. Finite element approach for composite magneto-piezoelectric materials modeling in ACELAN-COMPOS package // Analysis and Modelling of Advanced Structures and Smart Systems. Series "Advanced Structured Materials", 2018. Vol. 81. – Pp. 69-88.

Multi-Scale Modeling of Piezoactive Composite Materials

Soloviev A.N.^{1,2*}, Nasedkin A.V.², Oganesyanyan P.A.², Do Thanh Binh^{1,3}, Le Van Duong³

¹Don State Technical University, sq. Gagarin, 1, Rostov-on-Don, 344010 Russia

²Southern Federal University, 8a Milchakova St., Rostov-on-Don, 344090 Russia

³Le Quy Don University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

*solovievarc@gmail.com

The paper discusses a two-level modeling of a piezoelectric composite with 1-3 connectivity (Fig. 1), whose piezoactive elements are rods made of piezoelectric porous ceramics with 3-0 connectivity. It should be noted that the matrix in which the piezoceramic rods are placed usually has a much lower rigidity compared to solid piezoceramics. Porous ceramics with a large pore volume percentage are also characterized by low rigidity, however, the piezoelectric modulus d_{33} , which characterizes the efficiency of electromechanical coupling in this case, as calculations show, does not decrease for porous piezoceramics. These circumstances allow us to make the assumption that with a relatively equal rigidity of piezoceramic rods and a matrix, a piezoelectric material with significant sensitivity can be obtained and it can be used as sensors and piezoelectric generators operating on the reception of acoustic waves.

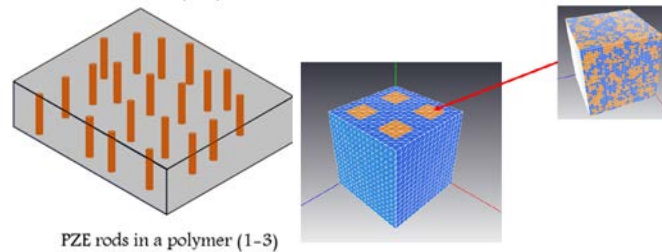


Fig. 1. Representative volumes of the composite 1-3 connectivity

The mathematical model of the problem under consideration is the boundary value problem of the linear theory of electroelasticity. The first step in the study is to determine the effective mechanical and electrical characteristics of porous ceramics. This calculation was performed using the ACELAN-COMPOS package for porosity from 10% to 80%. The effective properties of these porous composites have been determined.

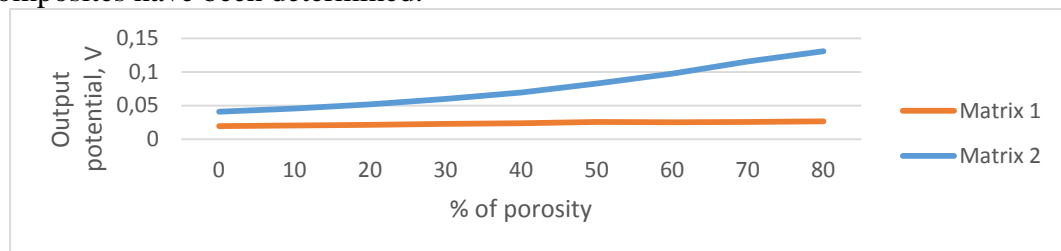


Fig. 2. Dependence of the output electric potential on the percentage of porosity

At the second step, a composite of connectivity 1-3 was considered (Fig. 1), while the rigidity of the matrix corresponded to the rigidity of piezoelectric ceramics with 50% and 80% pores. Their effective properties have been determined. Further, a piezoelectric energy generator was considered, which is acted upon by an alternating acoustic pressure and its characteristics were found that are responsible for the conversion of mechanical energy into electrical energy. So in fig. 2 shows the dependence of the output electric potential on the percentage of porosity of the piezoceramic rods. Analysis of the results of calculating the main characteristics of a piezoelectric composite and piezoelectric elements with its use allows us to conclude that the assumptions made about its effectiveness are confirmed, the coefficient of electromechanical coupling and the output potential increase.

Acknowledgements: The work (first - third authors) was supported by the Government of the Russian Federation, contract No. 075-15-2019-1928.

Упругогидродинамический смазанный контакт тел с двухслойными покрытиями

Айзикович С.М., Васильев А.С. *, Волков С.С.

Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону,
344010 Россия

* andre.vasiliev@gmail.com

Получена простая модель описывающая механическое поведение характеристик в легко нагруженном упругогидродинамическом смазанном контакте цилиндрических тел с двухслойными покрытиями. Основной вклад упругих перемещений, для рассматриваемых сочетаний упругих свойств в покрытии, определяется соотношениями схожими с соотношениями Винклера. Задача сведена к решению дифференциального уравнения с граничными условиями, одно из которых является интегральным. Решение задачи получено численно. Были определены основные характеристики смазанного контакта тел: контактные давления, зазор смазки, толщина смазочной пленки, сила трения и потеря энергии при контакте. Проведено сравнение полученных результатов с результатами для контакта жестких тел без покрытия при различных скоростях вращения тел. Показано, что покрытие и его свойства существенно перераспределяют давление в области контакта, увеличивают толщину смазки и область контакта и в целом ведут к снижению трения при низких скоростях. По мере увеличения скорости, результаты приближаются к результатам для жестких тел без покрытия, для рассмотренных материалов покрытий.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-58-53045 ГФЕН_а.

Исследование эффективности частично электродированного цилиндрического пьезоэлемента на основе конечно-элементного моделирования в ACELAN

Бардакова Р.А. *, Котова А.А.

Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону, 344010 Россия

* regina-137@inbox.ru

В работе рассматриваются свободные колебания частично электродированной пьезоэлектрической круглой пластины. Математической моделью является краевая задача линейной теории электроупругости. В методе решения использован метод конечных элементов реализованный в пакете ACELAN. На рис.1 показаны половина осевого сечения пьезоэлемента и рассмотренные случаи коммутации электродов.

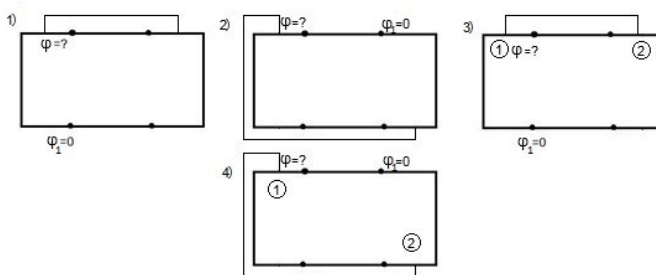


Рис. 1. Схема коммутации электродов

В работе исследуется эффективность этого преобразователя в зависимости от способов коммутации электродов и размеров электродов. Для этого находились частоты резонанса и антирезонанса f_r и f_a для первой и второй радиальных мод и вычислялся коэффициент электромеханической связи (КЭМС): $\sqrt{1 - \frac{f_r^2}{f_a^2}}$. На рис. 2 представлены зависимости КЭМС для второй радиальной моды от размеров электродов.

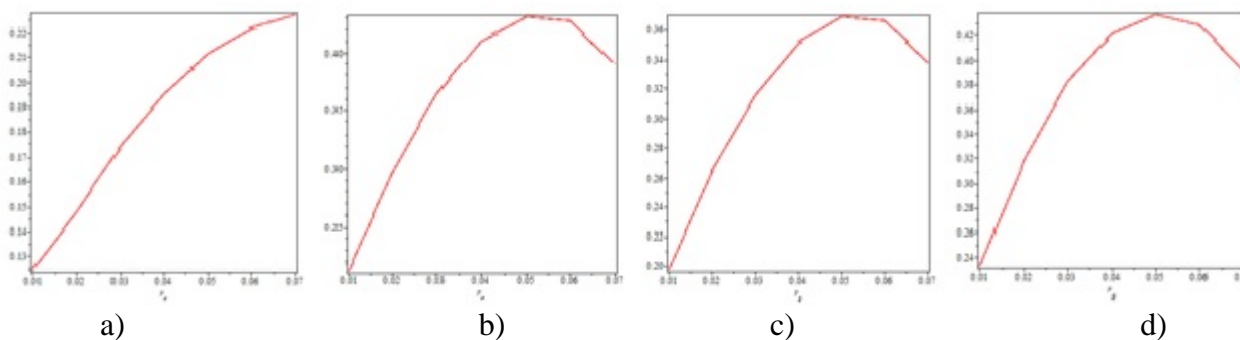


Рис. 2. Зависимость КЭМС от размеров электродов

Анализ численных результатов показывает, что максимальная эффективность преобразования энергии для второй радиальной моды достигается в четвертом подключении (рис. 2d).

Термоупругое вдавливание разогретого штампа конической формы в полупространство с ФГМ покрытием

Васильев А.С., Айзикович С.М.*

Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону, 344010, Россия

* *saizikovich@gmail.com*

Рассматривается осесимметричная термоупругая задача о вдавливании разогретого конического индентора в термоупругое полупространство с функционально-градиентным (ФГМ) покрытием. Используя технику интегрального преобразования Ханкеля, рассматриваемая задача сведена к решению системы парных интегральных уравнений, относительно неизвестных функций, характеризующих контактные напряжения и тепловой поток. Трансформанты ядер интегральных уравнений, в случае произвольного изменения термоупругих модулей по глубине покрытия, построены численно и аппроксимированы произведением дробно-квадратичных функций специального вида. Погрешность аппроксимации для рассмотренных случаев неоднородности покрытия, менее 0.8%. Заменяя в системе парных интегральных уравнений, трансформанты их аппроксимациями, получена приближенная система парных интегральных уравнений. Решив данную систему, были получены приближенные аналитические представления для контактных напряжений и теплового потока. Полученные решения эффективны для ФГМ покрытий различной толщины и относительной жесткости.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-19-00444.

Смещения поверхности полупространства с пьезоэлектрическим термоупругим ФГМ покрытием при термоэлектрическом воздействии

Волков С.С. *, Кренев Л.И.

*Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону,
344010, Россия
fenix_rsu@mail.ru

Рассматривается осесимметричная задача о термоэлектрическом воздействии на поверхность функционально-градиентного покрытия термопьезоэластичного полупространства. На поверхности покрытия задан электрический потенциал и разность температур. Термоэластичные параметры, характеризующие покрытие, изменяются с глубиной по достаточно произвольным законам. Для решения поставленной задачи использована техника интегрального преобразования Ханкеля и двухсторонний асимптотический метод, позволивший получить в аналитическом виде выражения для теплового потока и электрической индукции. Используя их, были получены представления для нормальных и радиальных смещений поверхности покрытия, а также для распределения температуры и электрического потенциала вне области термоэлектрического воздействия. Проведено сравнение полученных результатов с результатами для полупространства без покрытия. Показано, что наличие покрытия существенно изменяет смещения в зоне термоэлектрического воздействия. Полученные решения эффективны в широких диапазонах геометрических и физических параметров задачи.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-19-00444.

Моделирование глазного имплантата с промежуточным функционально градиентным слоем

Глушко Н.И.^{1*}, Алексеева А.Д.¹, Епихин А.Н.^{1,2}

¹Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону, 344010, Россия

²Ростовский государственный медицинский университет, пер. Нахичеванский, 29, Ростов-на-Дону, 344022, Россия

*lekса_n@list.ru

Кератопротез представляет собой искусственный имплантат, конструкция которого состоит из линзы, удерживающейся в тонкостенной цилиндрической оправе, имеющей опору [1, 2]. Кератопротезы используются для замены удаленной части роговицы, которая просто необходима при сильном поражении роговицы, которое может возникнуть в результате болезней, ожогов, механических травм, а также в результате неудачной кератопластики и отсутствия последующей возможности иного способа восстановления.

Операция по внедрению в глазное яблоко кератопротеза происходит следующим образом: производится трепанационное отверстие, иссекается пораженная часть роговицы. В образованное отверстие вставляется гаптический элемент (опора кератопротеза), после этого в него вкручивается оптический элемент (линза).

Одним из самых частых осложнений после проведения оперативного вмешательства, аллопластики, является отторжение искусственного имплантата. Происходит оно в результате развития асептического некроза биологических тканей. Разрушение роговицы происходит в результате деформации биологических тканей и блокировки движения жизненно необходимых веществ в слоях, расположенных около опоры имплантата. В связи с этим опорная часть кератопротеза выполняется из биосовместимого материала, который должен быть структурирован так, чтобы обеспечивалось сращение слоев роговицы, которые были разделены в процессе имплантации кератопротеза.

Для предотвращения деформации естественной ткани глаза необходимо разработать модели имплантатов с буферным слоем, конструктивным соединением жесткой оптической части и мягкой биологической ткани, способным осуществить наименее травматический контакт слоев роговицы с искусственным имплантатом. Это конструктивное соединение необходимо, так как модули упругости роговицы и оптической части кератопротеза могут отличаться на три порядка. То есть возникает необходимость построения модели с промежуточным слоем, который должен обладать неоднородными (функционально градиентными) механическими свойствами. Для производства кератопротезов с такой конструктивной особенностью необходимо провести исследование напряженно-деформированного состояния кератопротеза с роговицы на границе контакта.

В работе создана 3D-модель такого кератопротеза в пакете FlexPDE. На нем изображен имплантат с диаметром оптической части 6 мм и высотой 5 мм; гаптической частью (опорным диском) имеющей наружный диаметр 15 мм и толщину 0,9 мм и буферным слоем, обладающим неоднородными механическими свойствами, высотой 5 мм и толщиной 0,3 мм.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Правительства РФ, контракт № 14.Z50.31.0046.

Литература

- [1] Математическое и компьютерное моделирование глазного импланта / Глушко Н.И., Епихин А.Н., Свейн М., Соловьев А.Н. // Математическое моделирование и биомеханика в современном университете, с. Дивноморское, 27–31 мая 2019 г. – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – С. 32.
- [2] Соловьев А.Н., Глушко Н.И., Епихин А.Н., Свейн М., Лесняк О.Н., Иванов А.Е. Механические и конечноэлементные модели кератопротезов роговицы глаза // Advanced Engineering Research, 2020, 20 (4). – P. 350-359. <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-4-350-359>.

Аналитический аппарат для определения прочностных характеристик имплантатов из материалов с пустотами

Загребнева А.Д.

*Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону,
344010, Россия
anna.zagrebneva@gmail.com*

Изготовление имплантатов костных тканей производится в основном из биосовместимых, максимально к ним приближенных по физико-механическим свойствам материалов, к которым относятся пористый титан и его сплавы, оксиды циркония, пористая керамика и т.п. материалы. Определение прочностных качеств имплантатов осуществляется с помощью микроиндентирования. Теоретическое определение прочностных характеристик пористых материалов осуществляется в рамках моделирования процесса микроиндентирования за счет постановки и решения соответствующей контактной задачи дилатационной теории упругости об индентировании жестким индентором с плоской формой основания упругого материала с пустотами в виде полосы, жестко сцепленной с недеформируемым основанием. Контактная задача сводится к решению интегрального уравнения с разностным ядром, трансформанта которого зависит от классических и неклассических характеристик, характеризующих пустоты, упругих модулей. Решение интегрального уравнения построено асимптотическими методами, частным случаем которого является решение соответствующей классической контактной задачи теории упругости.

Для определения эффективных модуля Юнга и коэффициента Пуассона используются две характеристики контакта – действующая на индентор сила и осадка свободной поверхности материала с пустотами. Из равенства смещений свободной поверхности материала с порами вне области контакта и смещений свободной поверхности изотропного материала определяются эффективный коэффициент Пуассона материала с пустотами, а из равенства сил, действующих на индентор, для материала с пустотами и для изотропного материала определяется эффективный модуль Юнга материала с пустотами.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ (договор № 14.Z50.31.0046).

Модель Био процесса индентирования биомедицинских материалов

Зеленцов В.Б.

*Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону,
344010, Россия
vbzelen@gmail.com*

Изучение физико-механических характеристик биомедицинских материалов и тканей методами микроиндентирования определяется, в том числе эффективностью математической модели, описывающей жидконасыщенные пороупругие материалы. Модель жидконасыщенной пороупругой среды позволяет достаточно эффективно описать поведение костной ткани, хрящевой ткани, тканей, встречающихся в стоматологии и даже в офтальмологии. Моделирование процесса индентирования жидконасыщенных пороупругих тканей сводится к решению контактной задачи об осадке жесткого индентора с плоской формой основания в жидконасыщенную пороупругую среду в виде полуплоскости. Решение такой контактной задачи с помощью интегральных преобразований Лапласа и Фурье сводится к решению системы двух двумерных интегральных уравнений типа свертки Лапласа и Фурье с разностными двумерными ядрами как по временной, так и по координатной переменным. Методом выделения главных частей интегральных операторов совместно с методом исключения система интегральных уравнений сводится к треугольному виду, который позволяет последовательно определить неизвестное поровое давление, а затем и контактные напряжения, возникающие в упругом скелете модели жидконасыщенной пороупругой среды. Указаны классы функций, в которых определяются контактные напряжения и поровое давление жидкости. Полученные решения позволяют определить и другие важные характеристики, такие как расход жидкости через свободную поверхность вне области контакта и другие.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Правительства РФ (договор № 14.Z50.31.0046).

Пробоподготовка шлифованием образцов пористых биоматериалов для проведения индентирования

Зеленцов В.Б.^a, Лапина П.А.^b, Садырин Е.В.^c, Николаев А.Л.^d

Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону, 344010, Россия

^avbzelen@gmail.com, ^bpolina_azarova86@mail.ru, ^cevgeniy.sadyrin@gmail.com,

^dandreynicolaev@eurosites.ru

Процесс наноиндентирования материалов с целью определения механических, в первую очередь, упругих свойств материалов, связан со специальной подготовкой образцов этих материалов. Основным техническим элементом такой подготовки является создание поверхности материала, не содержащей дефектов и артефактов. Это достигается с помощью шлифовального оборудования типа станков фирм Buehler или Allied. Процесс шлифования предназначен для подготовки ровной поверхности образца материала с минимально возможной шероховатостью, чтобы влияние трения при внедрении (осадке) основания индентора в поверхность материала свести к минимуму. В процессе подготовки поверхности образца методом шлифования учитывается, что в общем случае образец может представлять сложную, в том числе пористую структуру материала. В ходе шлифования достаточно строго должна контролироваться температура контакта абразива с образцом. С этой целью перед подготовкой образца должен быть промоделирован процесс шлифования и должны быть определены рамки температуры при его обработке, особенно при подготовке образцов пористых биологических материалов типа костных тканей, тканей зубов и т.п. В связи с этими особенностями шлифования рассматривается задача об износе пористого материала с учетом разогрева скользящего контакта от трения. Пористость материала берется по Ковину – Нунциато. Решение задачи – контактные напряжения, температура контакта, износ материала и другие характеристики контакта построены в виде сверток Лапласа от закона осадки жесткого абразива и контурного интеграла от функции, характеризующей процесс износа. Исследование подынтегральных функций в комплексной плоскости позволяет определить области устойчивых решений в пространстве параметров задачи. Полученные решения позволили исследовать влияние пористости материала на возникновение термоупругой неустойчивости скользящего контакта, а также на динамику температуры, контактных напряжений, износ и скорость износа пористого материала. Исследуется влияние внедрения (осадки) абразива на износ пористого материала и распределение температуры по глубине образца.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (номера грантов 19-07-01259-а, 20-07-00949-а).

Моделирование взаимодействия упругих гаптических частей интраокулярной линзы в капсулярном мешке хрусталика

Краснов Д.В.¹, Соловьёв А.Н.^{1*}, Епихин А.Н.^{1,2}

¹Донской государственной технической университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону, 344010, Россия

²Ростовский государственный медицинский университет, пер. Нахичеванский, 29, Ростов-на-Дону, 344022, Россия

*solovievarc@gmail.com

Интраокулярная линза, имплантируемая в глаз для лечения таких заболеваний как катаракты или близорукости. Одним из самых распространенных типов линз является псевдофакическая линза. Они имплантируются во время операции по удалению катаракты и обеспечивает такую же функцию, что и естественный хрусталик. Чаще всего линзы состоят из небольшой пластиковой пластины с боковыми стойками (гаптиками), которые служат для удержания линзы на месте в капсульном мешке глаза. Ранее линзы производились из негибкого материала, сейчас же многие производители перешли на различные виды силикона и акриловое стекло. Целью работы является разработка проекта биоптического комплекса, имитирующего естественные аккомодационные свойства хрусталика глаза с использованием компьютерного метода моделирования.

Математическое и компьютерное моделирование выполнено методом конечных элементов в рамках линейной теории упругости с применением программного комплекса ANSYS. Материалом был выбран полиметилметакрилат, чтобы в случае помутнения по краям, не нарушались оптические свойства линзы. Сетка конечных элементов представлена на рис.1. Действие мышц на капсулярный мешок с двумя линзами моделировалось приложением напряжения 0.4МПа к внешней его границе.

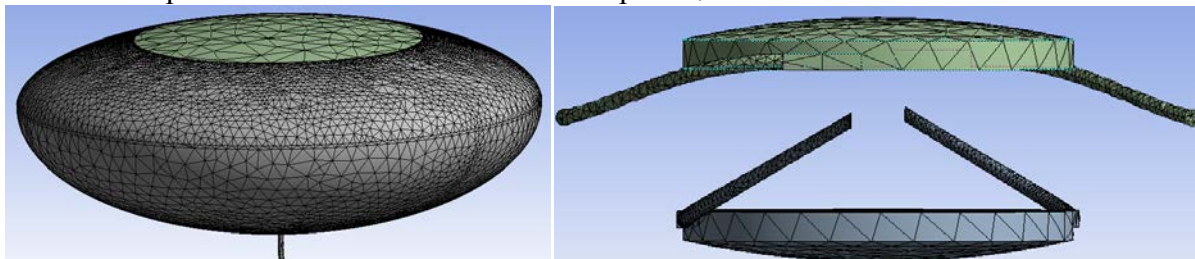


Рис. 1. Конечно-элементная модель линзы и хрусталика

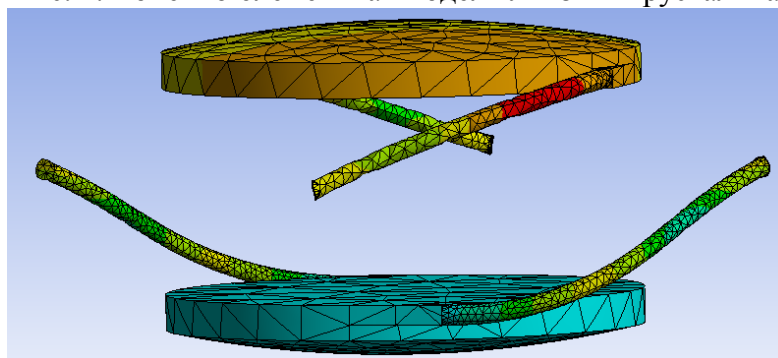


Рис. 2. Перемещения модели по вертикали

На рис. 2 представлено осевые перемещения линз в капсулярном мешке. Была найдена рациональная форма гаптических элементов при которой деформация оптических элементов соответствует анатомическим требованиям глаза. На основе численного анализа может быть сделан вывод о возможности создания аккомодирующего комплекса, имитирующего естественную аккомодацию глаза.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Правительства РФ, контракт № 14.Z50.31.0046.

Решение задачи о дисковой трещине в непрерывно-неоднородной прослойке между однородными полупространствами с использованием информационной системы «Градиентные покрытия»

Крнев Л.И.

*Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону, 344010, Россия
lkrenev@yandex.ru*

Функционально-градиентные покрытия применяются для защиты конструкций и деталей машин от повреждений, вызываемых различными термомеханическими нагрузками. Для расширения доступности средств для проведения расчетов и анализа экспериментальных данных широкому кругу исследователей, ведется разработка и отладка информационной системы «Градиентные покрытия» (ИС) [1] для интерактивной подготовки данных и многопараметрического анализа результатов численно-аналитического решения смешанных граничных задач теории упругости и термоупругости для непрерывно неоднородных покрытий сложной структуры. База данных ИС была реализована на PostgreSQL, а серверная часть web-интерфейса разрабатывается на языке Python с помощью библиотеки Django и поддерживается сервером Apache.

Web-интерфейс ИС «Градиентные покрытия» ориентирован на подробное описание изменения термо-механических характеристик покрытия. Для подготовки задания на решение задачи о дисковой трещине в непрерывно-неоднородной прослойке между однородными полупространствами [2] нужно совместить описания двух покрытий: интерактивной подготовки данных и многопараметрического анализа результатов численно-аналитического решения смешанных граничных задач теории трещин и теории упругости и термоупругости для непрерывно неоднородных покрытий сложной структуры.

Модификация интерфейса позволяет добавить к числу решаемых ИС проблем задачу о дисковой трещине в функционально-градиентном слое между двумя полупространствами. В работе приведено подробное описание решения конкретной задачи.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-07-01259 А.

Литература

- [1] Krenev, L.I., Sadyrin, E.V., Nikolaev, A.L., Litvinenko, A.N. Information system “Graded coatings”, January 2021, IOP Conference Series Materials Science and Engineering 1029:012070. DOI: 10.1088/1757-899X/1029/1/012070.
[2] Krenev, L.I. A penny-shaped crack in a functionally graded layer between two half-spaces with different elastic properties // MATEC Web Conf. Vol.226. – XIV International Scientific-Technical Conference "Dynamic of Technical Systems" (DTS-2018) Article Number 03013. DOI: 10.1051/mateconf/201822603013.

Конечно-элементное моделирование кератопротезов и их взаимодействия с тканями роговицы глаза

Соловьёв А.Н.^{1*}, Иванов А.Е.¹, Епихин А.Н.^{1,2}

¹Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону, 344010, Россия

²Ростовский государственный медицинский университет, пер. Нахичеванский, 29, Ростов-на-Дону, 344022, Россия

*solovievarc@gmail.com

По данным Всемирной организации здравоохранения, в мире около 5 миллионов человек слепы из-за болезни роговицы глаза. Трансплантация роговицы в большинстве случаев является успешной и излечивает слепоту. Однако этот способ менее эффективен при ряде заболеваний, которые вызывают неоваскуляризацию роговицы, сухость глазной поверхности и рецидивирующее воспаление или инфекции. В этом случае кератопротез является единственной альтернативой для восстановления зрения, когда трансплантат роговицы обречен на неудачу.

Актуальность данной тематики заключается в важности метода кератопротезирования, значительная доля осложнений дается рядом проблем, одни из которых: отмирания клеток в верхних слоях роговицы, приводящей к выталкиванию протеза из глазного яблока, создание буферной зоны между протезом и тканями, т.к со временем появляются пролежни, это трактует в необходимости дальнейшей работы в данном разделе офтальмологии.

Кератопротез – это искусственная или протезная роговица из синтетических материалов для восстановления зрения у пациентов с тяжелыми заболеваниями глазной поверхности такими как: кератит или запущенная стадия – бельмо глаза.

Кератит – воспаление роговицы глаза, преимущественно её помутнение, изъязвление, боль и покраснение глазного яблока. Возможный тяжелый исход кератита – это бельмо глаза и потеря зрения. В большинстве случаев, при потере зрения, проводится операция по вживлению кератопротеза в глазное яблоко.

На сегодняшний день важными задачами кератопротезирования являются: увеличение оптической части кератопротеза; создание буферной зоны между протезом и тканями; предотвращение отторжения; фиксация устойчивого положения протеза; недопущение выталкивания имплантата из глазного яблока. В связи с этим в работе выполнено компьютерное моделирование кератопротеза. Для этого с помощью программы ANSYS Mechanical сгенерирована конечно-элементная сетка. Кроме того, исходя из биологических свойств тканей и механических характеристик, выбраны подходящие гидрофобные материалы для протеза и буферной зоны.

Рассчитанные напряжения по 3D модели представлены на рис. 1.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Правительства РФ, контракт № 14.Z50.31.0046.

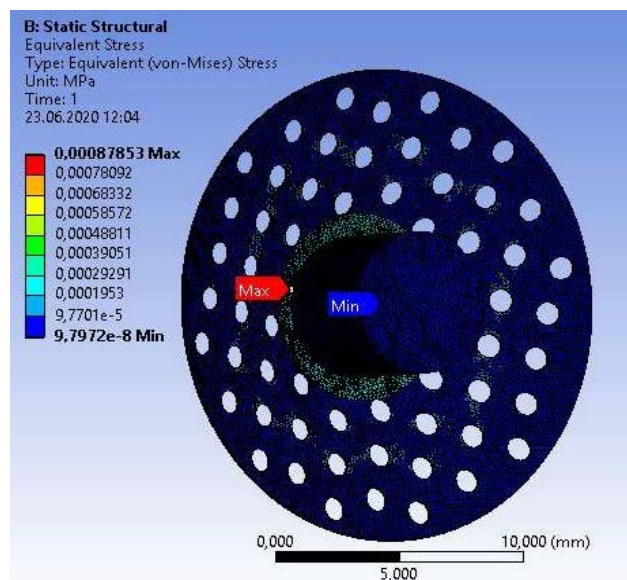


Рис. 1. Расчет напряжений

Mechanical instabilities in the dorsal aorta of *Danio rerio* and their role in the process of hematopoiesis

Golushko I. *, Chalin D.

*Don State Technical University, Research and Education Center (REC) "Materials",
sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia*

* *vaniagolushko@yandex.ru*

All blood cells are derived from hematopoietic stem cells (HSCs). HSC transplantation saves many lives every day, but their mass production to this day remains an unsolved problem in modern medicine. In an adult organism, most HSCs are formed from epithelial cells of the dorsal aorta (DA) during the endothelial-hematopoietic transition (EHT). This process was discovered in 2010 during the study of fish embryos *Danio rerio*, a popular model organism, and proceeds in a uniform manner in all vertebrates with only minor differences [1].

In this paper, we investigate the role of mechanical stress in the production of HSCs in the *Danio rerio* dorsal aorta, combining 4D confocal microscopy and the developed continuum model of the aorta [2]. Within the framework of this model, we consider the aorta as a cylindrical elastic membrane, which is under the influence of hydrostatic blood pressure, as well as an axial mechanical stress. The latter appear in the system due to the difference in the growth rate of the aorta and the surrounding tissues [3].

Using the results obtained analytically, we interpret the imaging data on the development of *Danio rerio* embryonic aorta. We show that HSC production is accompanied by two types of shape instabilities caused by the mechanical stress in the aortic walls. The first type leads to the appearance of corrugation with a period of the order of the tube radius, the second one leads to the bending of individual endothelial cells undergoing EHT. Thus, the mechanical forces arising in the system not only serve as signals that control the expression of cell genes, but also directly control the process, activating instabilities that lead to the necessary morphological changes.

Acknowledgements: This work was supported by Russian Science Foundation, grant RSF no. 20-72-00164.

References

- [1] K. Kissa, and P. Herbomel, *Nature* 464 (2010), 112-115.
- [2] D. Chalin, et al. *Sci. Rep.* 11 (2021), 9316.
- [3] N. Pouillet, et al. *Cell. Mol. Life Sci* 77 (2020), 3453-3464.

Оглавление

Сведения о поддержке конференции. Состав программного и организационного комитетов конференции.....	3
Айзикович Сергей Михайлович. К 70-летию со дня рождения.....	4
Bauer S., Voronkova E., Kornikov V., Kotliar K. Statistical Impact Assessment Some Parameters of Eyeballs on the Change of Intraocular Pressure After Intravitreal Injections.....	5
Galybin A.N. Semi-inverse Boundary Value Problems for Layered Media.....	6
Kucherenko D.V., Wilde M.V., Bauer S.M. Poroelastic Model of the Scleral Layer for Solving Problems of Ophthalmology.....	7
Lapina P.A. Modelling of the Indentation of Functionally Graded Biological Materials.....	8
Matrosov A.A., Nizhnik D.A., Ponomareva E.N., Soloviev A.N., Chebanenko V.A. Modeling of Impact of Acoustic Field on Biological Fluid with Cryoprotector.....	9
Nalimova A.V., Serebryanaya I.A., Serebryanaya D.S. Study of Quality of Conditions for Achievement of Measurement Results During Construction and Technical Examination.....	10
Nizhnik D.A., Matrosov A.A., Serebryanaya I.A. Modeling of the Stressed-Deformed State of Brickwork from Bricks of Various Voids.....	11
Oganesyan P.A., Skaliukh A.S., Solovieva A.A., Epikhin A.N. Modeling Ultrasonic Medical Devices Using Piezoactive Composite Materials.....	12
Poryadina N.A., Serebryanaya I.A., Matrosov A.A. Finite Element Modeling and Experimental Strength Test of Ceramic Bricks.....	13
Semenchatenko I.V., Matrosov A.A. Topological Optimization of Functional Prosthesis with Neurophysiological Control System.....	14
Serebryanaya I.A., Shlyakhova E.A., Egorochkina I.O. Modelling of Steel Structures Failures at Various Stages of the Life Cycle.....	15
Soloviev A.N., Chebanenko V.A., Do Thanh Binh, Kirillova E.V. Analytical Models of Vibration of Piezomagnetolectric Plates.....	16
Soloviev A.N., Nasedkin A.V., Oganesyan P.A., Do T. Binh, Le V. Duong. Multi-Scale Modeling of Piezoactive Composite Materials.....	17
Айзикович С.М., Васильев А.С., Волков С.С. Упругогидродинамический смазанный контакт тел с двухслойными покрытиями.....	18
Бардакова Р.А., Котова А.А. Исследование эффективности частично электродированного цилиндрического пьезоэлемента на основе конечно-элементного моделирования в ACELAN.....	19
Васильев А.С., Айзикович С.М. Термоупругое вдавливание разогретого штампа конической формы в полупространство с ФГМ покрытием.....	20
Волков С.С., Кренев Л.И. Смещения поверхности полупространства с пьезоэлектрическим термоупругим ФГМ покрытием при термоэлектрическом воздействии.....	21
Глушко Н.И., Алексеева А.Д., Епихин А.Н. Моделирование глазного имплантата с промежуточным функционально градиентным слоем.....	22

Загребнева А.Д. Аналитический аппарат для определения прочностных характеристик имплантатов из материалов с пустотами.....	23
Зеленцов В.Б. Модель Био процесса индентирования биомедицинских материалов.....	24
Зеленцов В.Б., Лапина П.А., Садырин Е.В., Николаев А.Л. Пробоподготовка шлифованием образцов пористых биоматериалов для проведения индентирования....	25
Краснов Д.В., Соловьёв А.Н., Епихин А.Н. Моделирование взаимодействия упругих гаптических частей интраокулярной линзы в капсулярном мешке хрусталика.....	26
Кренев Л.И. Решение задачи о дисковой трещине в непрерывно-неоднородной прослойке между однородными полупространствами с использованием информационной системы «Градиентные покрытия».....	27
Соловьёв А.Н., Иванов А.Е., Епихин А.Н. Конечно-элементное моделирование кератопротезов и их взаимодействия с тканями роговицы глаза.....	28
Golushko I., Chalin D. Mechanical instabilities in the dorsal aorta of Danio rerio and their role in the process of hematopoiesis.....	29
Оглавление.....	30

Научное издание

International conference
“Modern Problems in Modeling Materials for Mechanical, Medical, and Biological
Applications”
(MPMM&A-2021)

Theses of reports
(September 26 – October 1, 2021, Rostov-on-Don, Divnomorskoye)

Редактор: А.А. Матросов, А.Н. Соловьев
Компьютерная обработка: А.А. Матросов, А.Н. Соловьев

В печать 24.11.2021.
Формат 60×84/16. Объем 2,0 усл. п. л.
Тираж 50 экз. Заказ № 1. Цена свободная

ООО ДГТУ-Принт
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1