

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям



О.Г. Прохоренко

«05» июля 2023 г.

Регистрационный № УД - 1261/м.

Modern numerical methods in mechanics

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности**

7-06-0533-06 Mechanics and Mathematical Modelling

Profiling: Theoretical and Applied Mechanics

Минск, 2023 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 7-06-0533-06-2023, примерного учебного плана, регистрационный № 7-06-05-017/пр. от 18.01.2023 г. и учебного плана № М54а-5.4-114/уч. от 11.04.2023.

СОСТАВИТЕЛИ:

Журавков М.А., заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Василевич Юрий Владимирович – профессор кафедры «Теоретическая механика и механика материалов» машиностроительного факультета Белорусского национального технического университета, доктор физико-математических наук, профессор.

Коновалов Олег Леонидович, заведующий НИЛ факультета прикладной математики и информатики, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета БГУ
(протокол № 10 от 19.05.2023)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 29.06.2023)

Заведующий кафедрой _____

М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – создание базы для освоения основных идей и методов современной механики и прикладной математики, подготовка высококвалифицированных специалистов, способных ставить и решать задачи из различных областей науки и техники. Формирование установки на творческую профессиональную деятельность; развитие профессионального мышления, которое обеспечило бы будущему специалисту возможность свободно оперировать профессиональными знаниями, видеть проблемы и оптимальные пути их решения в самостоятельной практической деятельности. Развитие знаний, компетенций и навыков обучающихся в области численных методов механики, современных пакетов прикладных программ.

Задачи учебной дисциплины:

- знакомство с современными технологиями проведения численного анализа в механике;
- знакомство со средствами распределенных вычислений;
- знакомство с современными сопряженными методами численного анализа;
- освоение облачных средств написания программного кода и запуска расчетов;
- освоение современных методов сбора и анализа данных;
- знакомство и освоение современных пакетов прикладных программ для различных разделов механики.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с углубленным высшим образованием (магистра).

Дисциплина «Modern numerical methods in mechanics» посвящена изучению современных численных методов механики, построению численных моделей и алгоритмов решения задач из различных разделов механики на основе подходов численного анализа и моделирования.

Учебная дисциплина входит в **модуль** “Actual issues of modern mechanics” State Component.

Рассматриваются конкретные приложения и примеры решения задач механики с постановкой граничных задач и использованием пакетов численного анализа.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных **связей** и программ по дисциплинам: «Continuum mechanics», «Solid mechanics».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Modern numerical methods in mechanics» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

универсальные компетенции:

UC-5. Develop innovative receptivity and ability to innovate;

углубленные профессиональные компетенции:

DPC-2. Apply numerical methods and software to applied and theoretical mechanics, be able to navigate modern algorithms of computer mathematics.

В результате изучения дисциплины «Modern numerical methods in mechanics» магистрант должен:

знать:

- основные подходы к классификации современных методов численного анализа в механике и основные современные группы численных методов задач механики;
- основные современные тенденции и направления развития семейства методов сеток, основные достоинства и недостатки методов сеток, современные разделы механики эффективного использования методов сеток;
- основные современные тенденции и направления развития семейства методов интегральных уравнений и граничных элементов, основные достоинства и недостатки методов интегральных уравнений, современные разделы механики эффективного использования методов интегральных уравнений;
- основные современные тенденции и направления развития семейства методов конечных элементов, основные достоинства и недостатки методов конечных элементов применительно к различным классам задач механики;
- основы метода дискретных элементов, основные достоинства и недостатки методов дискретных элементов;
- основные направления развития и построения численных схем решения задач механики на основе смешанных технологий, основные смешанные методы численного анализа задач механики.

уметь:

- обоснованно выбирать численный метод для рассматриваемой задачи механики;
- корректно осуществлять построение численной модели в соответствие с выбранным численным методом;
- выполнять численный анализ состояния деформируемых тел со сложной геометрией, структурой и особенностями, и смешанными граничными условиями.

владеть:

- навыками построения сеточной, структурной и механической моделей численного анализа задач механики;
- разработки и отладки программного кода для численного анализа;
- интерпретации и представления результатов расчетов в необходимом виде.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 1 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Modern numerical methods in mechanics» отведено:

– в очной форме получения углубленного высшего образования: 90 часов, в том числе 54 аудиторных часов, из них: лекции (в том числе дистанционно) – 18 часов, лабораторные занятия (в том числе дистанционно) – 36 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

SYLLABUS

Theme 1. Introduction to the discipline. General characteristics of numerical methods of mechanics

About approaches to the classification of numerical methods. Modern classification of numerical methods, their brief characterization. The main stages of building numerical models of the selected groups of methods.

Theme 2. The finite difference method and its modern implementations

Basic principles of the finite difference method. Modern approaches to the construction of meshes. Finite volume method and other modifications of the finite difference method. Cracking and nonlinear analysis in the finite difference method/finite volume method. Modern packages that implement finite difference techniques.

Theme 3. Boundary element method and its modern implementations

Basic principles of the method of boundary elements, the method of boundary integral equations. Direct and implicit formulations of the method of boundary integral equations. Modeling of nonlinearity and inhomogeneous structure. Modeling of cracks. Alternative formulations related to the boundary element method. Development of the boundary element method. Modern packages realizing technologies of the boundary element method / method of boundary integral equations.

Theme 4. Finite element method and related methods

Basic principles of the finite element method. Modeling of nonlinearity and inhomogeneous structure. Modeling of cracks and discontinuities in solid deformable media. Derived technologies of the finite element method, their characterization. Modern packages implementing finite element method technologies.

Theme 5. "Meshless" methods

Basic concepts and principles of meshless methods. h-method and p-method convergence. Examples of meshless methods, their characterization.

Theme 6. Advantages and disadvantages of continuum methods as applied to the solution of "non-standard" applied problems in mechanics

Основные преимущества различных классов континуальных методов и их недостатки при решении разнообразных типов задач механики

Theme 7. About discrete element methods. Explicit and implicit realizations of the discrete element method

General concepts and provisions of discrete element method. Explicit and implicit methods. Various implementations of the discrete element method. Discretization and construction of blocks. Definition of links between blocks, representation of contacts. Connection equations of block structures. Discrete element method. Method of discrete

deformation analysis. Discrete element method for particle systems. Dynamic lattice coverage models.

Theme 8. Hybrid models. Continuous and discontinuous conjugate methods

Basic definitions. Principles of hybrid models construction. Examples of tasks realized on the basis of hybrid models. Classification of conjugate methods. Essence of hybrid finite element/boundary element methods, discrete element/boundary element methods. The main areas of use of various hybrid methods.

Theme 9. Neural network method. Numerical-experimental approaches.

Basic definitions. Types of neural networks. Methods of neural networks for solving problems of mechanics. Examples.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения углубленного высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия: перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов						Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	иное	Количество часов УСР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<p>Introduction to the discipline. General characteristics of numerical methods of mechanics</p> <p>About approaches to the classification of numerical methods. Modern classification of numerical methods, their brief characterization. The main stages of building numerical models of the selected groups of methods.</p>	1						Вопросы для самопроверки, устный опрос
2	<p>The finite difference method and its modern implementations</p> <p>Basic principles of the finite difference method. Modern approaches to the construction of meshes. Finite volume method and other modifications of the finite difference method. Cracking and nonlinear analysis in the finite difference method/finite volume method. Modern packages that implement finite difference techniques.</p>	1			4			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач
3	<p>Boundary element method and its modern implementations</p> <p>Basic principles of the method of boundary elements, the method of boundary integral equations. Direct and implicit formulations of the method of boundary integral equations. Modeling of nonlinearity and inhomogeneous structure. Modeling of cracks. Alternative formulations related to the boundary element method.</p>	2			6			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач. Защита

	Development of the boundary element method. Modern packages realizing technologies of the boundary element method / method of boundary integral equations.						научно-исследовательских эссе
4	Finite element method and related methods Basic principles of the finite element method. Modeling of nonlinearity and inhomogeneous structure. Modeling of cracks and discontinuities in solid deformable media. Derived technologies of the finite element method, their characterization. Modern packages implementing finite element method technologies.	2			4		Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач
5	"Meshless" methods Basic concepts and principles of meshless methods. h-method and p-method convergence. Examples of meshless methods, their characterization.	1			2		Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач
6	Advantages and disadvantages of continuum methods as applied to the solution of "non-standard" applied problems in mechanics Основные преимущества различных классов континуальных методов и их недостатки при решении разнообразных типов задач механики	1					Вопросы для самопроверки, устный опрос
7	About discrete element methods. Explicit and implicit realizations of the discrete element method General concepts and provisions of discrete element method. Explicit and implicit methods. Various implementations of the discrete element method. Discretization and construction of blocks. Definition of links between blocks, representation of contacts. Connection equations of block structures. Discrete element method. Method of discrete deformation analysis. Discrete element method for particle systems. Dynamic lattice coverage models.	4			10		Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач. Защита научно-исследовательских эссе
8	Hybrid models. Continuous and discontinuous conjugate methods Basic definitions. Principles of hybrid models construction. Examples of tasks realized on the basis of hybrid models. Classification of conjugate methods. Essence of hybrid finite element/boundary element methods, discrete element/boundary element methods. The main areas of use of various hybrid methods.	2			6		Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач. Защита научно-исследовательских эссе
9	Neural network method. Numerical-experimental approaches.	4			4		Вопросы для самопроверки, уст-

	Basic definitions. Types of neural networks. Methods of neural networks for solving problems of mechanics. Examples.							ный опрос, решение задач. Защита научно-исследовательских эссе
	Всего	18			36			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Журавков М.А. Современные численные методы в механике: курс лекций / М.А. Журавков; БГУ, Механико-математический факультет, кафедра теоретической и прикладной механики. – Минск: БГУ, 2022. – 132 с.
2. Shunying Ji, Lu Liu. Computational Granular Mechanics and Its Engineering Applications. Springer. 2020.
3. Jamshid Ghaboussi, Xiping Steven Wu. Numerical Methods in Computational Mechanics. Published 2019 by CRC Press. 332 p.

Перечень дополнительной литературы

1. Гляков С.А., Громько О.В., Журавков М.А., Медведев Д.Г. Компьютерная механика. Динамический и кинематический анализ механических систем: курс лекций / под ред. М.А.Журавкова. Мн.: БГУ, 2006. 375 с.
2. Журавков М.А. Фундаментальные решения теории упругости и некоторые их применения в геомеханике, механике грунтов и оснований. Курс лекций. Минск: БГУ, 2008. 247 с.
3. Журавков М.А., Коновалов О.Л., Богдан С.И., Прохоров П.А., Круподеров А.В. Компьютерное моделирование в геомеханике / Под общ. ред. М.А. Журавкова. Мн. БГУ, 2008. 443 с.
4. Computer Mechanics: Introduction to FEA and CAD/CAE Systems: lecture course / Громько О.В., Журавков М.А., Медведев Д.Г., Гляков С.А., Громько А.О., Громько А.О., Царева А.А.; под общ. ред. проф. М.А. Журавкова. – Минск: БГУ, 2011. – 303 с.
5. Журавков М.А., Круподеров А.В., Щербаков С.С. Гранично-элементное моделирование в механике. Учебное пособие для обучающихся по специальности «Механика и математическое моделирование». – Минск: БГУ, 2014. – 174 с. (учебное пособие с грифом УМО).
6. Wang TL, Tang XM. Finite-difference modeling of elastic wave propagation: A nonsplitting perfectly matched layer approach. Geophys, 2003; 68: 1749-1755.
7. Pan EN, Chen CS, Amadei B. A BEM formulation for anisotropic half-plane problems. Eng Anal Bound Elem., 1997; 20: 185-195.
8. Saez A, Dominguez J. Dynamic crack problems in three-dimensional transversely isotropic solids. Eng Anal Bound Elem., 2001; 25: 203-210.
9. Liu GR, Gu YT. Boundary meshfree methods based on the boundary point interpolation methods. Eng Anal Bound Elem., 2004; 28: 475-487.
10. Bonora N. A nonlinear CDM model for ductile failure. Eng Fract Mech (UK), 1997, 58: 11-28.

11. Kuna-Ciska, H, Skrzypek JJ. CDM based modelling of damage and fracture mechanisms in concrete under tension and compression. *Eng Fract Mech*, 2004; 71: 681-698.
12. Zienkiewicz OC, Hinton E, Biccianic N, Fejzo P. Computational models for the transient dynamic analysis of concrete dams. *Dams and Earthquake*, Inst. of Civil Engineers, London, 1980.
13. Andreev K, Harmuth H. FEM simulation of the thermo-mechanical behaviour and failure of refractories - A case study. *J Mater Process Tech*, 2003; 143-144(1): 72-77.
14. Ansys Inc. <http://www.ansys.com/>, 2018.
15. Yang ZJ, Chen J. Finite element modelling of multiple cohesive discrete crack propagation in reinforced concrete beams. *Eng Fract Mech*, 2005; 72: 2280-2297.
16. Terada K, Asal M, Yamagishi M. Finite cover method for linear and non-linear analyses of heterogeneous solids. *Int. J. Numer. Meth. Eng.*, 2003; 58: 1321-1346.
17. Terada K, Ishii T, Kyoya T, Kishino Y. Finite cover method for progressive failure with cohesive zone fracture in heterogeneous solids and structures. *Comput. Mech.*, 2007; 39: 191-210.
18. Chiou YJ, Lee YM, Tsay RJ. Mixed mode fracture propagation by manifold method. *Int J Fract.*, 2002; 114: 327-347.
19. Strouboulis T, Zhang L, Babuska I. Generalized finite element method using mesh-based handbooks: application to problems in domains with many voids. *Comput. Meth Appl Mech Eng*, 2003; 192: 3109-3161.
20. Strouboulis T, Zhang L, Babuska I. Assessment of the cost and accuracy of the generalized FEM. *Int. J. Numer. Meth. Eng*, 2007; 69: 250-283.
21. Prabel B, Combescure A, Gravouil A, Marie S. Level set X-FEM non-matching meshes: application to dynamic crack propagation in elastic-plastic media. *Int. J. Numer. Meth. Eng*, 2007; 69: 1553-1569.
22. Stolarska M, Chopp DL, Moes N, Belyschko T. Modelling crack growth by level sets in the extended finite element method. *Int J Numer Meth Eng.*, 2001; 51: 943-960.
23. Grégoire D, Maigrea H, Réthoré J, Combescure A. Dynamic crack propagation under mixedmode loading – Comparison between experiments and X-FEM simulations. *Int J Solid Struc.*, 2007; 44: 6517-6534.
24. Fernandez-Mendez S, Huerta A. Imposing essential boundary conditions in mesh-free methods. *Comput Meth Appl Mech Eng*, 2004; 193: 1257-1275.
25. Markus Peters KH. Numerical aspects of the eXtended Finite Element Method. *PAMM.*, 2005; 5(1):355-356.
26. De S, Bathe KJ. The method of finite spheres. *Comput Mech*, 2000; 25: 329-345
27. Sukumar N, Moran B, Belytschko T. The natural element method in solid mechanics. *Int. J. Numer. Methods Eng.*, 1998; 43: 839-887.

28. Rahman S, Rao BN. Probabilistic fracture mechanics by Galerkin meshless methods - part II: reliability analysis. *Comput Mech*, 2002; 28: 365-374.
29. Singh IV, Jain PK. Parallel EFG algorithm for heat transfer problems. *Adv Eng Software*, 2005; 36: 554-560.
30. Onate E, Perazzo F, Miquel J. A finite point method for elasticity problems. *Comput Struct*, 2001; 79: 2151-2163.
31. Lee SH, Yoon YC. Meshfree point collocation method for elasticity and crack problems. *Int. J. Numer. Methods Eng.*, 2004; 61: 22-48.
32. Chappel, BA. *The mechanics of blocky material*, Australia National University, Canberra, 1972.
33. Taylor LM. *BLOCKS, A block motion code for geomechanics studies*. Sandia National Laboratories, 1983.
34. ITASCA Consulting Group, I. *PFC-2D and PFC-3D Manuals*, 2015.
35. Hu N, Molinari JF. Shear bands in dense metallic granular materials. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2004; 52: 499-531.
36. Munjiza A. *The combined finite-discrete element method*, John Wiley&Sons, Ltd, University of London, 2004.
37. Hentz S, Donze FV, Daudeville L. Discrete element modelling of concrete submitted to dynamic loading at high strain rates. *Comput Struct*, 2004; 82: 2509-2524.
38. Shi GH. *Discontinuous deformation analysis, a new numerical model for the statics and dynamics of block systems*. PhD thesis, Univ. of California, Berkeley, Berkeley, Calif, 1988.
39. Hatzor YH, Arzi AA, Zaslavsky Y, Shapira A. Dynamic stability analysis of jointed rock slopes using the DDA method: King Herod's Palace, Masada, Israel. *Int. J. Rock Mech. & Min.Sci.*, 2004; 41: 813-832.
40. Jiang QH, Yeung MR. A model of point-to-face contact for three-dimensional discontinuous deformation analysis. *Rock Mech Rock Eng*, 2004; 37: 95-116.
41. Mustoe GGW. Generalized formulation of the discrete element method. *Engineering Computations* 1992; 9(2):181-190.
42. Heermann HJ, Kertész J, De Arcangelis L. Fractal shapes of deterministic cracks. *Europhys. Lett.* 1989; 10:147-152.
43. Parisi A, Caldarelli G. Self-affine properties of fractures in brittle materials. *Phys Stat Mech Appl.*, 2000; 280(1):161-5.
44. Babadagli T. Analysis of the displacement in fractal lattices with different number of grids. *Fractals*, 2005; 13: 207-213.
45. Darve F, Servant G, Laouafa F, Khoa HDV. Failure in geomaterials: continuous and discrete analyses. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 2004; 193:3057–3085.
46. Munjiza A, Owen DRJ, Bicanic N. A combined finite-discrete element method in transient dynamics of fracturing solids. *Eng Comput*, 1995; 12: 145-174.
47. Karami A, Stead D. Asperity degradation and damage in the direct shear test: A hybrid FEM/DEM approach. *Rock Mech Rock Eng*, 2008; 41: 229-266.

48. Ariffin AK, Huzni S, Nor MJM, Mohamed NAN. Hybrid finite-discrete element simulation of crack propagation under mixed mode loading condition. *Comput Meth Appl Mech Eng.*, 2006; 195:4579-4593.
49. Silling SA, Askari E. A meshfree method based on the peridynamic model of solid mechanics. *Comput Struct*, 2005; 83: 1526-1535.
50. Ma J, Lu H, Wang B, Hornung R, Wissink A, Komanduri R. Multiscale simulation using generalized interpolation material point (GIMP) method and molecular dynamics (MD). *CMES*, 2006; 14: 101-117.
51. Sfantos GK, Aliabadi MH. Multi-scale boundary element modelling of material degradation and fracture. *Comput Meth Appl Mech Eng*, 2007; 196(7): 1310-1329.
52. Abdulle, A., Weinan, E. Finite difference heterogeneous multi-scale method for homogenization problems. *J Comput Phys*, 2003; 191(1): 18-39.
53. Miller RE, Tadmor EB. Hybrid continuum mechanics and atomistic methods for simulating materials deformation and failure. *MRS Bulletin*, 2007; 32(11): 920-926.
54. He YM, Chen XF, Xiang JW, He ZJ. Adaptive multiresolution finite element method based on second generation wavelets. *Finite Elem Anal Des*, 2007; 43(6-7): 566-579.
55. de Borst R. Challenges in computational materials science: Multiple scales, multi-physics and evolving discontinuities. *Computational Materials Science*, 2008; 43(1): 1-15.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Объектом диагностики компетенций магистрантов являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины. Выявление учебных достижений магистрантов осуществляется с помощью мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации.

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Modern numerical methods in mechanics» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- вопросы для самопроверки;
- устный опрос;
- защита научно-исследовательских эссе;
- решение задач.

Оценка за ответы на лекциях (опрос) и лабораторных занятиях включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Для магистрантов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную отметку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с Положением о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в Белорусском государственном университете.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Modern numerical methods in mechanics» учебным планом предусмотрен **экзамен**.

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний магистранта, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации:

Формирование отметки за текущую аттестацию:

- ответы на устный опрос – 10 %;
- решение задач – 20 %;
- защита научно-исследовательских эссе – 70 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) - 40% и экзаменационной отметки - 60%.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих формирование профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме дисциплины;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- подготовка к лекциям и лабораторным занятиям;
- работы, предусматривающие подготовку: решение задач и защиты научно-исследовательских эссе.

Тем самым, имеется в виду постепенное превращение обучения в самообучение, когда магистрант должен получать знания главным образом за счет креативной самостоятельной работы, самостоятельно осуществляя поиск необходимой информации и созидательно прорабатывая ее с тем, чтобы выполнить необходимые умозаключения и получить результаты.

В этом случае, выполняя учебные задачи, магистранты самостоятельно приобретают новые знания, навыки и умения (в частности, умение анализировать и принимать решения в нестандартных ситуациях), что очень важно для эффективной будущей самостоятельной профессиональной деятельности.

Примерная тематика научно-исследовательских эссе

1. Основные принципы метода конечных разностей.
2. Современные подходы к построению сеток.
3. Метод конечных объемов и иные модификации метода конечных разностей.
4. Учет наличия трещин и нелинейный анализ в методе конечных разностей/методе конечных объемов.
5. Современные пакеты, реализующие технологии метода конечных разностей.

6. Основные принципы метода граничных элементов, метода граничных интегральных уравнений.

7. Прямая и неявная формулировки метода граничных интегральных уравнений.

8. Моделирование нелинейности и неоднородной структуры.

9. Моделирование трещин.

10. Альтернативные формулировки, связанные с методом граничных элементов.

11. Развитие метода граничных элементов.

12. Современные пакеты, реализующие технологии метода граничных элементов / метода граничных интегральных уравнений.

13. Основные принципы метода конечных элементов.

14. Моделирование нелинейности и неоднородной структуры.

15. Моделирование трещин и нарушений в твердых деформируемых средах.

16. Производные технологии метода конечных элементов, их характеристика.

17. Современные пакеты, реализующие технологии метода конечных элементов.

18. Общие понятия и положения метода дискретных элементов.

19. Явные и неявные методы.

20. Различные реализации метода дискретных элементов.

21. Дискретизация и построение блоков.

22. Определение связей между блоками, представление контактов.

23. Уравнения связей блочных структур.

24. Метод отдельных элементов.

25. Метод анализа дискретных деформаций.

26. Метод дискретных элементов для систем частиц. Модели покрытия динамической решеткой.

27. Основные определения. Принципы построения гибридных моделей. Примеры задач, реализованных на базе гибридных моделей. Классификация сопряженных методов.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Classification of numerical modeling methods in the framework of continuous and discrete media models.
2. The main differences between continuous and discrete methods.
3. Basic modern continuum methods of numerical analysis in continuum mechanics (CM).

4. The essence of the finite difference method (FDM). Technologies of modeling the features of structure and nonlinear behavior of deformable media.
5. Modern modifications of the finite difference method.
6. Finite volume method.
7. The main differences, advantages and disadvantages of the finite difference method (FDM) in comparison with the method of boundary integral equations (BEM) and the finite element method (FEM).
8. Basic principles of the boundary element method (BEM).
9. Explicit and implicit formulations of the boundary element method (BEM).
10. Approaches to crack modeling using the boundary element method (BEM).
11. Modern techniques of the boundary element method (BEM).
12. Evolution of boundary element methods.
13. The main advantages and disadvantages of the boundary element method (BEM) compared to the finite element method (FEM) and the finite difference method (FDM).
14. Basic principles of the finite element method (FEM).
15. Basic equation of the finite element method (FEM). Global stiffness matrix.
16. Modeling of cracks in the finite element method (FEM).
17. The main advantages and disadvantages of the finite element method (FEM).
18. Basic derivative realizations of the finite element method (FEM).
19. Meshless ("Element-free") methods.
20. Basic principles of discrete element methods (DEM) construction.
21. Main groups of discrete element methods.
22. Coupled/hybrid methods. Main groups of coupled methods.
23. Multiscale conjugate methods
24. Neural network methods.
25. Main stages of numerical modeling of mechanical processes on the basis of modern software.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) ¹
Continuum mechanics	Кафедра теоретической и прикладной механики	нет	Изменений в содержании учебной программы не требуется (протокол № 10 от 19.05.2023).

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
на _____ / _____ учебный год**

№№ ПП	Дополнения и изменения	Основание
1.	Для студентов набора 2023 года дисциплина преподается в 1-м семестре 2023-2024 учебного года и 4-м семестре 2024-2025 учебного года.	Рег. № М54а-5.4-14/ПУР от 27.02.2024

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № _____ от _____ 20_ г.)

Заведующий кафедрой

д-р физ.-мат. наук,

профессор

(степень, звание)

(подпись)

М.А. Журавков

(И.О. Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

д-р физ.-мат. наук,

профессор

(степень, звание)

(подпись)

С.М. Босяков

(И.О. Фамилия)