

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям


О.Л. Прохоренко

«05» июля 2023 г.

Регистрационный № УД - 1262/м.

Continuum 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 Михаил Анатольевич – заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

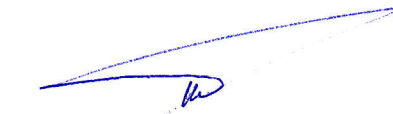
РЕЦЕНЗЕНТ:

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

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики
механико-математического факультета БГУ
(протокол № 13 от 28.06.2023)

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 фундаментальных знаний для освоения новых идей и методов современной механики и математики, подготовка высококвалифицированных специалистов, способных ставить и решать задачи из различных областей науки и техники. Формирование установок 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.

Задачи учебной дисциплины:

- ознакомление магистрантов с основными подходами, моделями и методами механики сплошной среды;
- формирование навыков построения основных классов граничных задач с использованием математических моделей механики сплошной среды;

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

Дисциплина «Continuum mechanics» посвящена изучению положений, математических моделей, подходов механики сплошных сред, теории напряженно-деформированного состояния сплошных сред.

Учебная дисциплина входит в модуль «Special problems in Continuum mechanics» - 1 компонента учреждения образования.

Рассматриваются конкретные приложения и примеры решения задач механики сплошных сред с постановкой граничных задач и использованием прикладных математических методов.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных **связей** и программ по дисциплинам: «Mechanics of nonelastic and nonlinear solid body», «Solid mechanics».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Continuum mechanics» должно обеспечить формирование следующей **специализированной компетенции**:

SC-2. Apply analytical, approximate and numerical methods to solving special problems of biomechanics, geomechanics, continuum mechanics, to calculate the stress-strain states of mechanical engineering structures.

В результате изучения дисциплины «Continuum mechanics» магистрант должен:

знать:

- проблематику составления математических моделей и постановки граничных задач для описания напряженно-деформированного состояния сплошных сред;

– проблематику составления алгоритмов решения граничных задач механики сплошных сред.

уметь:

– составлять алгоритмы для решения систем алгебраических, дифференциальных, интегральных уравнений, описывающих механические процессы;

– получать аналитические решения для модельных задач и проводить анализ полученных результатов;

– проводить анализ надежности и безопасности конструкций в различных условиях эксплуатации;

владеть:

– подходами к решению математических моделей основных задач механики сплошных сред.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается во 2 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Continuum mechanics» отведено:

– в очной форме получения углубленного высшего образования: 198 часов, в том числе 72 аудиторных часов, из них: лекции (в том числе дистанционно) – 36 часов, лабораторные занятия (в том числе дистанционно) – 36 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации по учебной дисциплине – зачет.

SYLLABUS

Theme 1. Continuum Theory

General remarks about Continuum Mechanics. The continuum model for material bodies. Main themes into which the topics of continuum mechanic are divided. Defining concepts of Continuum Mechanics (concepts of elementary volume, the criteria of quasi-continuum and quasi-heterogeneity). Example.

Theme 2. Essential Mathematics

Scalars, Vectors, and Cartesian Tensors. Tensor Algebra in Symbolic Notation – Summation Convention. Indicial Notation. Matrices and Determinants. Transformations of Cartesian Tensors. Principal Values and Principal Directions of Symmetric Second-Order Tensors. Tensor Fields, Tensor Calculus. Integral Theorems of Gauss and Stokes.

Theme 3. Stress principles

Body and Surface Forces, Mass Density. Cauchy Stress Principle. The Stress Tensor. Force and Moment equilibrium. Stress Tensor Symmetry. Stress Transformation Laws. Principal Stresses, Principal Stress Directions. Maximum and Minimum Stress Values. Mohr's Circles for Stress. Plane Stress. Deviator and Spherical Stress States. Octahedral Shear Stress.

Theme 4. Kinematics of Deformation and Motion

Particles, Configurations, Deformation, and Motion. Material and Spatial Coordinates. Lagrangian and Eulerian Descriptions. The Displacement Field. The Material Derivative. Deformation Gradients, Finite Strain Tensors. Infinitesimal Deformation Theory. Stretch Ratios. Rotation Tensor, Stretch Tensors. Velocity Gradient, Rate of Deformation, Vorticity. Material Derivative of Line Elements, Areas, Volumes.

Theme 5. Fundamental Laws and Equations

Balance Laws, Field Equations, Constitutive Equations. Material Derivatives of Line, Surface, and Volume Integrals. Conservation of Mass, Continuity Equation. Moment of Momentum (Angular Momentum) Principle. Law of Conservation of Energy. The Energy Equation. Entropy and the Clausius-Duhem Equation. Restrictions on Elastic Materials by the Second Law of Thermodynamics. Invariance. Restrictions on Constitutive Equations from Invariance. Constitutive Equations.

Theme 6. Linear Elasticity

Elasticity, Hooke's Law, Strain Energy. Hooke's Law for Isotropic Media, Elastic Constants. Elastic Symmetry. Hooke's Law for Anisotropic Media. Plane Elasticity. Linear Thermoelasticity. Airy Stress Function. Torsion. Three-Dimensional Elasticity.

Theme 7. Classical Fluids

Viscous Stress Tensor, Stokesian, and Newtonian Fluids. Basic Equations of Viscous Flow, Navier-Stokes Equations. Specialized Fluids. Steady Flow, Irrotational Flow, Potential Flow. The Bernoulli Equation, Kelvin's Theorem.

Theme 8. Linear Viscoelasticity

General definition. Viscoelastic Constitutive Equations in Linear Differential Operator Form. One-Dimensional Theory, Mechanical Models. Creep and Relaxation. Superposition Principle, Hereditary Integrals. Harmonic Loadings, Complex Modulus and Complex Compliance. Three-Dimensional Problems. The Correspondence Principle.

Theme 9. Nonlinear Elasticity

Molecular Approach to Rubber Elasticity. A Strain Energy Theory for Nonlinear Elasticity.

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	Continuum Theory General remarks about Continuum Mechanics. The continuum model for material bodies. Main themes into which the topics of continuum mechanic are divided. Defining concepts of Continuum Mechanics (concepts of elementary volume, the criteria of quasi-continuum and quasi-heterogeneity). Example.	2						Вопросы для самопроверки, устный опрос
2	Essential Mathematics Scalars, Vectors, and Cartesian Tensors. Tensor Algebra in Symbolic Notation – Summation Convention. Indicical Notation. Matrices and Determinants. Transformations of Cartesian Tensors. Principal Values and Principal Directions of Symmetric Second-Order Tensors. Tensor Fields, Tensor Calculus. Integral Theorems of Gauss and Stokes.	6			6			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач
3	Stress principles Body and Surface Forces, Mass Density. Cauchy Stress Principle. The Stress Tensor. Force and Moment equilibrium. Stress Tensor Symmetry. Stress Transformation Laws. Principal Stresses, Principal Stress Directions. Maximum and	4			6			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач

	Minimum Stress Values. Mohr's Circles for Stress. Plane Stress. Deviator and Spherical Stress States. Octahedral Shear Stress.						
4	Kinematics of Deformation and Motion Particles, Configurations, Deformation, and Motion. Material and Spatial Coordinates. Lagrangian and Eulerian Descriptions. The Displacement Field. The Material Derivative. Deformation Gradients, Finite Strain Tensors. Infinitesimal Deformation Theory. Stretch Ratios. Rotation Tensor, Stretch Tensors. Velocity Gradient, Rate of Deformation, Vorticity. Material Derivative of Line Elements, Areas, Volumes.	4			6		Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач
5	Fundamental Laws and Equations Balance Laws, Field Equations, Constitutive Equations. Material Derivatives of Line, Surface, and Volume Integrals. Conservation of Mass, Continuity Equation. Moment of Momentum (Angular Momentum) Principle. Law of Conservation of Energy. The Energy Equation. Entropy and the Clausius-Duhem Equation. Restrictions on Elastic Materials by the Second Law of Thermodynamics. Invariance. Restrictions on Constitutive Equations from Invariance. Constitutive Equations.	6			4		Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач
6	Linear Elasticity Elasticity, Hooke's Law, Strain Energy. Hooke's Law for Isotropic Media, Elastic Constants. Elastic Symmetry. Hooke's Law for Anisotropic Media. Plane Elasticity. Linear Thermoelasticity. Airy Stress Function. Torsion. Three-Dimensional Elasticity.	4			4		Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач
7	Classical Fluids Viscous Stress Tensor, Stokesian, and Newtonian Fluids. Basic Equations of Viscous Flow, Navier-Stokes Equations. Specialized Fluids. Steady Flow, Irrotational Flow, Potential Flow. The Bernoulli Equation, Kelvin's Theorem.	4			4		Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач
8	Linear Viscoelasticity General definition. Viscoelastic Constitutive Equations in Linear Differential Operator Form. One-Dimensional Theory, Mechanical Models. Creep and Relaxation. Superposition Principle, Hereditary Integrals. Harmonic Loadings, Complex Modulus and Complex Compliance. Three-Dimensional Problems. The Correspondence Principle.	4			4		Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач

9	Nonlinear Elasticity Molecular Approach to Rubber Elasticity. A Strain Energy Theory for Nonlinear Elasticity.	2			2			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач
	Bcero	36			36			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Zhuravkov M., Lyu Y., Starovoitov E. Mechanics of Solid Deformable Body. Springer. 2023. 317p.
2. Журавков М.А., Старовойтов Э.И. Математические модели механики твердых тел: учеб.пособие. – Минск: БГУ, 2021 – 535 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Журавков М.А., Старовойтов Э.И. Механика сплошных сред. Теория упругости и пластичности: учеб. пособие. – Минск: БГУ, 2011 – 543 с. (Классическое университетское издание). (Допущено Министерством образования республики Беларусь в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений по специальности «Механика»).
2. Ray M. Bowen. Introduction to Continuum Mechanics for Engineers. Published By Plenum Press. 2007. (Revised Edition).
3. Победря Б.Е., Георгиевский Д.В. Основы механики сплошной среды. Курс лекций. – М.: Физматлит. 2006.
4. Ray M. Bowen. Introduction to Continuum Mechanics for Engineers. Published By Plenum Press. 2007. (Revised Edition).
5. G. T. Mase and G. E. Mase. Continuum mechanics for engineers. CRC Press. Boca Raton London New York Washington, D.C. 1999.
6. W. Michael Lai, David Rubin, Erhard Krempf. Introduction to Continuum Mechanics. Pub. by Pergamon Press Ltd. 1993.
7. A.J.M. Spencer. Continuum Mechanics. Longman Group Ltd., London, 1980.
8. George E. Mase. Theory and Problems of Continuum Mechanics. Schaum's Outline Series. McGraw-Hill Book Co. 1970.
9. Hodge P.G., Jr. Continuum Mechanics. McGraw-Hill Book Co. 1970.
10. George E. Mase. Theory and Problems of Continuum Mechanics. Schaum's Outline Series. McGraw-Hill Book Co. 1970.
11. Hodge P.G., Jr. Continuum Mechanics. McGraw-Hill Book Co. 1970.
12. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Том 1. М.: Наука, 1970.

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 «Continuum mechanics» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- вопросы для самопроверки;
- устный опрос;
- 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 «Continuum mechanics» учебным планом предусмотрен **зачет**.

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.

Формирование отметки за текущую аттестацию:

- ответы на вопросы при устном опросе – 45 %;
- решение задач – 55 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) - 50% и отметки на зачете - 50%.

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

Самостоятельная работа в процессе работы с конспектами лекций и с дополнительной литературой. Самостоятельный разбор задач с решениями и решение задач, рекомендованных преподавателем.

Подготовка к лабораторным занятиям

Назначение лабораторных занятий - углубление и проработка теоретического материала предмета путем регулярной и планомерной самостоятельной работы обучающихся на протяжении всего изучения дисциплины. Непосредственное проведение лабораторного занятия предполагает: решение задач и упражнений по образцу; проведение анализа результатов; систематизацию материала и подготовка отчета о проведенной работе.

Инструкция:

Изучите нормативные документы, обязательную и дополнительную литературу по рассматриваемому вопросу.

прочтите конспект лекции по теме.

Внимательно изучите порядок выполнения индивидуальной практической работы или алгоритм, представленный преподавателем.

Подготовка к зачету

Внимательно прочитайте материал по конспекту, составленному на учебном занятии.

Прочитайте тот же материал по учебнику, учебному пособию.

Постарайтесь разобраться с непонятными, в частности новыми терминами.

Ответьте на контрольные вопросы для самопроверки, имеющиеся в учебнике.

Кратко перескажите содержание изученного материала «своими словами».

Заучите «рабочие определения» основных понятий, законов.

Освоив теоретический материал, приступайте к выполнению заданий, упражнений; решению задач, расчетов по индивидуальным заданиям и т.д.

Примерный перечень вопросов к зачету

Main concepts of Continuum Mechanics (concepts of elementary volume, the criteria of quasi-continuum and quasi-heterogeneity).

Cauchy Stress Principle.

The Stress Tensor.

Force and Moment equilibrium.

Stress Transformation Laws.
 Principal Stresses, Principal Stress Directions. Maximum and Minimum Stress Values.
 Mohr's Circles for Stress.
 Plane Stress.
 Deviator and Spherical Stress States. Octahedral Shear Stress.
 Deformation, Strain, Displacements.
 Material and Spatial Coordinates.
 Lagrangian and Eulerian Descriptions.
 The Material Derivative.
 Deformation Gradients, Finite Strain Tensors.
 Infinitesimal Deformation Theory.
 Stretch Ratios. Rotation Tensor, Stretch Tensors.
 Velocity Gradient, Rate of Deformation, Vorticity.
 Material Derivative of Line Elements, Areas, Volumes.
 Balance Laws, Field Equations, Constitutive Equations.
 Material Derivatives of Line, Surface, and Volume Integrals.
 Continuity Equation.
 Moment of Momentum (Angular Momentum) Principle.
 Law of Conservation of Energy. The Energy Equation.
 Entropy and the Clausius-Duhem Equation. Restrictions on Elastic Materials by the Second Law of Thermodynamics.
 Invariance. Restrictions on Constitutive Equations from Invariance.
 Elasticity, Hooke's Law for Isotropic Media and Anisotropic Media.
 Plane Elasticity.
 Linear Thermoelasticity.
 Airy Stress Function.
 Torsion.
 Three-Dimensional Elasticity.
 Viscous Stress Tensor, Stokesian, and Newtonian Fluids.
 Basic Equations of Viscous Flow, Navier-Stokes Equations.
 Specialized Fluids. Steady Flow, Irrotational Flow, Potential Flow.
 The Bernoulli Equation, Kelvin's Theorem.
 General definition in Viscoelasticity. Creep and Relaxation.
 Viscoelastic Constitutive Equations in Linear Differential Operator Form.
 One-Dimensional Theory, Mechanical Models.

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
Отсутствует			

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

№№ ПП	Дополнения и изменения	Основание

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,

доцент

(степень, звание)

(подпись)

С.М. Босяков

(И.О. Фамилия)