

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Проректор по учебной работе и образовательным инновациям
О.Г. Прохоренко

«05» июля 2024 г.

Регистрационный № УД – 1520/м.

MODERN EXPERIMENTAL MECHANICS

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

7-06-0533-06 Mechanics and Mathematical modeling

Profiling: Theoretical and applied mechanics

2024

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

СОСТАВИТЕЛЬ:

Богданович А.В., профессор кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор технических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Еловой О.М., заместитель генерального директора ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» по научной работе и инновационной деятельности, кандидат технических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета БГУ (протокол № 11 от 26.04.2024);

Научно-методическим советом БГУ (протокол № 8 от 31.05.2024)

Зав. кафедрой _____

М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины «Modern experimental mechanics» является повышение общепрофессионального уровня подготовки магистрантов, получение новых знаний в области современных методов экспериментальной механики и их применению для определения механических характеристик материалов, элементов конструкций, пар трения, работающих в условиях статических, переменных, динамических нагрузок, трения, комбинированных и экстремальных воздействий.

Задачами дисциплины «Modern experimental mechanics» являются:

- формирование установки на творческую профессиональную деятельность;

- знакомство с экспериментальной механикой как разделом современной механики;

- знакомство с экспериментальными методами определения напряженно-деформированного состояния и остаточных напряжений образцов и конструкций, характеристик механических свойств при статическом, длительном, циклическом, динамическом нагружении, триботехнических характеристик материалов и пар трения, определения характеристик механических свойств в экстремальных условиях;

- развитие профессионального мышления в области экспериментальной механики, которое обеспечит будущему специалисту возможность свободно оперировать профессиональными знаниями, видеть проблемы и пути их решения в самостоятельной практической деятельности, выбирать оптимальные пути их решения и методу осуществления решений;

- воспитание активной профессиональной позиции, умения вырабатывать и обосновывать свой подход в решении задач.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с углубленным высшим образованием. Учебная дисциплина относится к **модулю** «Special problems in Continuum mechanics 1» компонента учреждения образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения образования, дисциплины специализации и др.

Данная дисциплина опирается и использует знания следующих изучаемых дисциплин: «Mechanics of nonelastic and nonlinear solid body», «Mechanics of advanced materials».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Modern experimental mechanics» должно обеспечить формирование **специализированной компетенции**:

SC-4. Use devices, equipment, tools and equipment to achieve experimental verification of the results, the goals set for the problems to be solved in modern experimental mechanics.

В результате освоения учебной дисциплины магистрант должен:

знать:

- методы определения характеристик механических свойств при статическом, длительном, циклическом, динамическом нагружении;
- методы определения триботехнических характеристик материалов и пар трения;
- экспериментальные методы определения напряженно-деформированного состояния и остаточных напряжений образцов и конструкций;
- методы определения характеристик механических свойств в экстремальных условиях;
- оборудование для механических испытаний;

уметь:

- применять полученные знания для экспериментального определения механических характеристик материалов, элементов конструкций, пар трения, работающих в условиях статических, переменных, динамических нагрузок, трения, комбинированных и экстремальных воздействий.

владеть:

- статистическими методами обработки результатов испытаний.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 3 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Modern experimental mechanics» отведено:

– для очной формы 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 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

CONTENT OF TRAINING MATERIAL

Topic 1. Introduction. Determination of the characteristics of the mechanical properties of structural materials

Tensile tests. Tension diagram. The concept of hardening. Characteristics of strength and ductility. Work of deformation. The nature and features of the fracture. Compression tests. The concept of the mechanism of formation of deformations. The influence of various factors on the mechanical properties of materials. Creep and long-term strength.

Topic 2. Methods and equipment for hardness testing. Determination of the resistance characteristics of structural materials to impact loading. Technological tests

Hardness during static indentation (ball, cone, pyramid). Scratch hardness. Hardness under dynamic indentation. Evaluation of various mechanical properties from hardness test results. Impact tests. Ductile-brittle transition temperature. Technological tests (for spark, for bending, for upset, for bending, etc.).

Topic 3. Methods and means for experimental determination of the fatigue resistance characteristics of structural materials

Fatigue testing machines: purpose, classification, general requirements. Basic diagrams (design features) of mechanical, hydraulic, resonant, servo-hydraulic testing machines. Samples for fatigue testing. Methods for determining fatigue resistance characteristics. Processing of fatigue test results. Methods for accelerated computational and experimental assessment of endurance limits.

Topic 4. Testing materials for friction and wear

Tribotechnical materials science. Tribometry of surfaces. Experimental determination of tribological characteristics of metal and polymer materials. Frictional heat resistance. Abrasion resistance of materials. Determination of tribological properties of lubricants.

Topic 5. Experimental fracture mechanics

General principles of fracture mechanics. Static crack resistance of materials. Load-displacement diagram. Basic principles of static crack resistance. Kinetic diagram of fatigue failure. Experimental determination of crack resistance characteristics under cyclic loading. The influence of various factors on the cyclic crack resistance of structural alloys.

Topic 6. Strain gauges, strain gauge methods and means, fiber optic sensors

Strain sensitivity. Strain gauges and their characteristics. Strain gauge circuit. Strain gauge diagram of the Winston bridge. Stick-on foil-shaped strain gauges. Signal conditioning devices. Strain gauge recording equipment. Extensometers. Features of strain gauge measurements and processing of their results. Fiber Optic Sensors.

Topic 7. Photoelasticity methods and photoelastic coatings

Theory of photoelasticity. Polarization and birefringence. Scattered light methods. Photoelastic coatings. Dynamic photoelasticity. Photothermoelasticity. Digital photoelasticity. Digital polariscope. Photoplasticity.

Topic 8. Brittle coating method

Stress-strain state of the coating. Criterion for destruction of brittle coatings. Ultimate coating strength. Analysis of data obtained using brittle coatings. Examples. Experimental technique.

Topic 9. Experimental mechanics of composites

Experimental methods for composite materials. Determination of characteristics of composite materials. Biaxial tests. Effect of stress concentration. Non-destructive testing.

Topic 10. Scanning electron microscopy

Introduction. Basic design of a scanning electron microscope and electron sources. Electron beam interactions: secondary electrons, backscattered electrons, X-rays. Preparation of samples for research. Application: fractography, microstructural features.

Topic 11. Methods for determining residual stresses

Hole drilling method. Ultrasonic method. Acoustic elasticity. X-ray method. Optical-mechanical methods.

Topic 12. Experimental determination of the strength of materials of structural elements under extreme conditions

Strength and ductility of materials at low temperatures. The influence of neutron irradiation on the mechanical characteristics of structural alloys. Fatigue of metallic materials at high and low temperatures, high-frequency loading.

Topic 13. Methods and means of wear-fatigue testing

Methods of wear-fatigue tests. SI series machines. Test center SZ-01. Standardization and unification during wear-fatigue testing. Wear-fatigue damage resistance characteristics.

Topic 14. Full-scale bench and field testing of assembly units, units and complete machines

Organization of testing of automotive and agricultural machinery: types, program and testing methods, test site. Tests for safety and environmental friendliness. Bench tests: features, modes, design and principle of operation of stands, automation. Measuring and information technology. Experiment planning.

Topic 15. Methods for statistical processing of mechanical test results

Statistical distributions. Confidence intervals of estimates. Comparison of averages. Statistical safety factor. Statistical data selection. Regression analysis. Least square method. Chi-square test.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Introduction. Determination of the characteristics of the mechanical properties of structural materials	2			4			Собеседование, отчет по лабораторной работе
2	Methods and equipment for hardness testing. Determination of the resistance characteristics of structural materials to impact loading. Technological tests	2			4			Собеседование, отчет по лабораторной работе
3	Methods and means for experimental determination of the fatigue resistance characteristics of structural materials	2			4			Собеседование, отчет по лабораторной работе
4	Testing materials for friction and wear	4			6			Собеседование, отчет по лабораторной работе
5	Experimental fracture mechanics	4			4			Собеседование, отчет по лабораторной работе
6	Strain gauges, strain gauge methods and means, fiber optic sensors	2						Собеседование

7	Photoelasticity methods and photoelastic coatings	2						Собеседование
8	Brittle coating method	2						Собеседование
9	Experimental mechanics of composites	2			2			Контрольная работа
10	Scanning electron microscopy	2						Собеседование
11	Methods for determining residual stresses	2						Собеседование
12	Experimental determination of the strength of materials of structural elements under extreme conditions	2						Собеседование
13	Methods and means of wear-fatigue testing	2			4			Собеседование, отчет по лабораторной работе
14	Full-scale bench and field testing of assembly units, units and complete machines	2			2			Собеседование, отчет по лабораторной работе
15	Methods for statistical processing of mechanical test results	4			6			Собеседование, отчет по лабораторной работе
	Итого	36			36			

ИНФОРМАЦИОННО - МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. C. Suryanarayana. Experimental Techniques in Materials and Mechanics. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. – 430 p.
2. R.G. Bayer. Mechanical Wear Fundamentals and Testing, Revised and Expanded. CRC Press, New York (2004). – 395 p.
3. Материаловедение = Materials Science : учебник для студ. учреждений высшего образования по профилю образования "Техника и технологии" / [авт.: В. А. Струк и др.] ; под ред. Н. К. Мышкина, В. А. Гольдаде ; [пер. с рус. Л. М. Середа]. - Минск : ИВЦ Минфина, 2023. - 457 с. - Текст на англ. яз.
4. Материаловедение = Materials Science : учебное пособие для иностранных студентов учреждений высшего образования; под ред. Н. А. Свидуневича. - Минск : Вышэйшая школа, 2019. - 223 с. - (Для иностранных студентов учреждений высшего образования). - Текст на англ. яз.
5. Sosnovskiy, L. A. Mechanothermodynamics / Leonid Sosnovskiy, Sergei Sherbakov, [transl. by E. A. Zharkova]. - Cham [etc.] : Springer, 2016. - ix, 155 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Экспериментальная механика: В 2 кн. Пер. с англ. под ред. А. Кобаяси. – М. : Мир, 1990. – Книга 1. – 616 с. – Книга 2. – 552 с.
2. Справочник по триботехнике/ Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – В 3 т. Т.1. Теоретические основы. – М. : Машиностроение, 1989. – 400 с.
3. Сосновский, Л.А. Трещиностойкость: монография /Л.А. Сосновский, А.В. Богданович. – Гомель: БелГУТ, 2011. – 366 с.
4. Прочность материалов и элементов конструкций в экстремальных условиях. В 2-х т. / Под ред. Г.С. Писаренко. – Киев : Наукова думка, 1980. – Т.1. – 535 с. – Т.2. – 771 с.
5. Григорович, В.К. Твердость и микротвердость металлов / В.К. Григорович. – М. : Наука, 1976. – 230 с.
6. Жуковец, И.И. Механические испытания металлов: Учеб. /И.И. Жуковец. – М. : Высш. шк., 1986. – 199 с.
7. Кирпиченко, Ю.Е. Основы трибологии: Теория. Лабораторный практикум. Упражнения / Ю.Е. Кирпиченко, А.Ф. Трофименко. – Гомель : Инфотрибо, 1995. – 224 с.
8. Сосновский, Л.А. Основы трибофатики : Учебное пособие для студентов вузов: В 2 ч. / Л.А. Сосновский. – Гомель, 2003. – Ч.1. – 246 с.

9. Автомобили: испытания; учеб. пособие для вузов/ *В.М. Беляев, М.С. Высоцкий, Л.Х. Гилелес и др.*; Под ред. *А.И. Гришкевича, М.С. Высоцкого*. – Мн.: Высш. шк., 1991. – 187 с.
10. *Богданович, А.В.* Лабораторный практикум по экспериментальной механике: Учеб.-методич. пособие для магистрантов ММФ / *А.В. Богданович, С.С. Щербаков, Д.Е. Мармыш*. – Минск : БГУ, 2017. – 107 с.
11. *Когаев, В.П.* Прочность и износостойкость деталей машин: Учебное пособие для вузов / *В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов*. – М.: Высш. школа, 1991. – 319 с.
12. Springer Handbook on Experimental Solid Mechanics. Ed. by Prof. William N. Sharpe, Springer, LLC New York (2008). – 1099 p.
13. Механика разрушения на базе компьютерных технологий. Практикум / *В.М. Пестриков, Е.М. Морозов*. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 464 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

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

- проверка отчетов по лабораторным работам;
- собеседование на аудиторных занятиях;
- контрольная работа.

Отметка за ответы на лекциях (собеседование) и выполнение отчетов по лабораторным работам включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Контрольная работа выполняется по темам по темам 1-8. Перечень вопросов и заданий для подготовки к контрольной работе преподаватель размещает заранее на образовательном портале факультета в Moodle.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Modern experimental mechanics» учебным планом предусмотрен **экзамен**.

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.

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:

- отчеты по лабораторным работам – 50 %;
- контрольная работа – 50%.

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

Примерная тематика лабораторных занятий

Лабораторная работа №1. Determination of strength and ductility characteristics during static tensile testing of steel.

Лабораторная работа №2. Experimental determination of the compressive resistance characteristics of a wood sample.

Лабораторная работа №3. Testing a polymer sample for three-point bending.

Лабораторная работа №4. Experimental determination of surface microhardness.

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 дисциплины организация самостоятельной работы магистрантов должна представлять единство трех взаимосвязанных форм:

- 1) внеаудиторная самостоятельная работа;
- 2) аудиторная самостоятельная работа, которая осуществляется под непосредственным руководством преподавателя;
- 3) творческая, в том числе научно-исследовательская работа.

На лабораторных занятиях по дисциплине «Modern experimental mechanics» рекомендуется применять вариативные индивидуальные, в том числе исследовательские, задания для приобретения навыков самостоятельного решения практических задач.

В силу различного уровня готовности магистрантов к восприятию новых понятий на лабораторных занятиях по дисциплине рекомендуется проводить регулярные самостоятельные работы и при необходимости проводить дополнительные консультации для объяснения и закрепления сложного материала.

Условия для самостоятельной работы студентов, в частности, для развития навыков самоконтроля, способствующих интенсификации учебного процесса, обеспечиваются наличием и полной доступностью электронных (и бумажных) вариантов курсов лекций, учебно-методических пособий и сборников задач по основным разделам дисциплины.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Tensile tests. Tension diagram. The concept of hardening. Characteristics of strength and ductility. Work of deformation. The nature and features of the fracture.
2. Compression tests. The concept of the mechanism of formation of deformations. The influence of various factors on the mechanical properties of materials. Creep and long-term strength.
3. Hardness during static indentation (ball, cone, pyramid). Scratch hardness. Hardness under dynamic indentation. Evaluation of various mechanical properties from hardness test results.
4. Impact tests. Ductile-brittle transition temperature. Technological tests (for spark, for bending, for upset, for bending, etc.).
5. Fatigue testing machines: purpose, classification, general requirements. Basic diagrams (design features) of mechanical, hydraulic, resonant, servo-hydraulic testing machines. Samples for fatigue testing.
6. Methods for determining fatigue resistance characteristics. Processing of fatigue test results. Methods for accelerated computational and experimental assessment of endurance limits.
7. Tribotechnical materials science. Tribometry of surfaces. Experimental determination of tribological characteristics of metal and polymer materials.
8. Frictional heat resistance. Abrasion resistance of materials. Determination of tribological properties of lubricants.
9. General principles of fracture mechanics. Static crack resistance of materials. Load-displacement diagram. Basic principles of static crack resistance.
10. Kinetic diagram of fatigue failure. Experimental determination of crack resistance characteristics under cyclic loading. The influence of various factors on the cyclic crack resistance of structural alloys.
11. Strain sensitivity. Strain gauges and their characteristics. Strain gauge circuit. Strain gauge diagram of the Winston bridge. Stick-on foil-shaped strain gauges. Signal conditioning devices.
12. Strain gauge recording equipment. Extensometers. Features of strain gauge measurements and processing of their results. Fiber Optic Sensors.

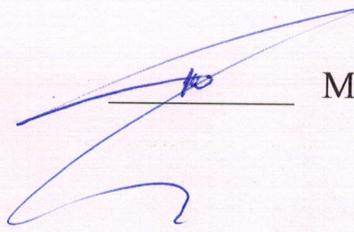
- 13.Theory of photoelasticity. Polarization and birefringence. Scattered light methods. Photoelastic coatings. Dynamic photoelasticity. Photothermoelasticity. Digital photoelasticity. Digital polariscope.
- 14.Stress-strain state of the coating. Criterion for destruction of brittle coatings. Ultimate coating strength. Analysis of data obtained using brittle coatings.
- 15.Experimental methods for composite materials. Determination of characteristics of composite materials. Biaxial tests. Effect of stress concentration. Non-destructive testing.
- 16.Introduction. Basic design of a scanning electron microscope and electron sources. Electron beam interactions: secondary electrons, backscattered electrons, X-rays. Preparation of samples for research. Application: fractography, microstructural features.
- 17.Hole drilling method. Ultrasonic method. Acoustic elasticity. X-ray method. Optical-mechanical methods.
- 18.Strength and ductility of materials at low temperatures. The influence of neutron irradiation on the mechanical characteristics of structural alloys. Fatigue of metallic materials at high and low temperatures, high-frequency loading.
- 19.Methods of wear-fatigue tests. SI series machines. Test center SZ-01. Standardization and unification during wear-fatigue testing. Wear-fatigue damage resistance characteristics.
- 20.Organization of testing of automotive and agricultural machinery: types, program and testing methods, test site. Tests for safety and environmental friendliness.
- 21.Bench tests: features, modes, design and principle of operation of stands, automation. Measuring and information technology. Experiment planning.
- 22.Statistical distributions. Confidence intervals of estimates. Comparison of averages. Statistical safety factor.
- 23.Statistical data selection. Regression analysis. Least square method. Chi-square test.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой
д-р физ.-мат. наук, профессор

26.04.2024



М.А. Журавков

