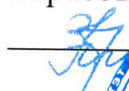


Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

 **О.Г. Прохоренко**

«05» июля 2024 г.

Регистрационный № УД-1496/м.



Analytical methods in Structural engineering

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

7-06-0533-06 Mechanics and Mathematical Modelling

Profiling: Theoretical and Applied Mechanics

Минск, 2024 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 7-06-0533-06-2023 и учебного плана № М54а-5.4-114/уч. от 11.04.2023.

СОСТАВИТЕЛИ:

Мармыш Денис Евгеньевич – доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Гундина Мария Анатольевна – доцент кафедры «Инженерная математика» приборостроительного факультета Брестского государственного технического университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики
механико-математического факультета БГУ
(протокол № 12 от 28.05.2024)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 28.06.2024)

Зав.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 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.

Задачи учебной дисциплины:

- ознакомление магистрантов с основными методами и техниками механики сплошной среды для решения прикладных задач механики деформируемого твердого тела;
- формирование навыков решения прикладных инженерных задач с использованием математических моделей механики сплошной среды;
- использование комплексного подхода к анализу напряженно-деформированного состояния и разрушения твердого тела.

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

Дисциплина «Analytical methods in structural engineering» посвящена изучению математических подходов, основанных на основных положениях механики сплошной среды, к решению задач механики деформируемого стержней, описанию напряженно-деформированного состояния твердых одномерных тел, анализу механического поведения при действии системы силовых статических и динамических нагрузок, температурного воздействия.

Учебная дисциплина входит в модуль «Mathematical modelling in Engineering» компонента учреждения образования.

Рассматриваются конкретные приложения и примеры решения задач механики деформируемого твердого тела и механики стержневых систем с постановкой граничных задач и использованием прикладных математических методов.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных связей и программ по дисциплинам: «Partial differential equations», «Integral transforms and complex variable functions» «Continuum mechanics» и «Mechanics of advanced materials».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Analytical methods in structural engineering» должно обеспечить формирование следующей **специализированной компетенции**:

SC. Develop and apply mathematical software to complex systems.

В результате изучения дисциплины «Analytical methods in structural engineering» магистрант должен:

знать:

- проблематику составления математических моделей и постановки граничных задач для описания напряженно-деформированного состояния стержневой системы;

- проблематику составления алгоритмов решения граничных задач механики твердого тела;

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 деформируемого твердого тела.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 3 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Analytical methods in structural engineering» отведено:

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

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

SYLLABUS

Theme 1. Axial deformation, torsion. Differential equation approach

Method of sections. Definition of stress. Stress tensor. Differential equation of equilibrium. Mechanical properties of materials. Stress-strain diagram.

Normal strain. Normal and shear stress analysis. Hooke's law. Poisson's ratio. Elastic modulus and shear modulus. Differential equation of axial strain. Torsion formula. Angle-of-twist of circular members. Differential equation approach for torsion problems. Boundary conditions. Examples.

Theme 2. Bending. Differential equation of an elastic curve and its solution

Bending of beams with symmetric cross sections. Elastic flexure formula. Compatibility condition. Moment of inertia. Differential equation of elastic curve. Boundary conditions. Methods of integration of the differential equation of elastic curve. Deflection by superposition. Energy methods for deflections and impact. Inelastic deflections in beams.

Theme 3. Beams on elastic foundation

Elastic foundation. Winkler model of elastic foundation. Coefficient of elastic foundation. Boundary value problems for a beam on one parametric elastic foundation.

Pasternak model of two parametric elastic foundation. Boundary value problems for a beam on two parametric elastic foundation. Examples. Beams partially supported by elastic foundation.

Theme 4. Laplace integral transform and its application in structural engineering

Laplace direct and inverse transform. Basic properties of Laplace integral transform. Laplace transform for the derivatives. Application of Laplace transform to the boundary value problem for a finite and semi-infinite beams. Semi-infinite beam on one parametric elastic foundation.

Theme 5. Fourier integral transform and its application in structural engineering

Fourier direct and inverse transform. Basic properties of Fourier integral transform. Fourier transform for the derivatives. Application of Fourier transform to the boundary value problems. Vertical deflections of an infinite beam on elastic foundation. One-dimensional wave equation.

Theme 6. Fourier series and its application in structural dynamics

Periodic functions. Odd and even functions. Fourier series. Fourier sine and cosine series. Basic properties of Fourier series. Bessel inequalities. Parseval equality. Partial differential equations in structural dynamics. Boundary conditions and initial conditions. Applications of Fourier series to the wave equation. Wave motion on an interval. Non-homogeneous wave equation. Vibrations of a rectangular plate. Initial boundary value problem for the heat equation. Dirichlet problem.

Theme 7. Hankel integral transform and its application in structural engineering

Hankel integral transform: definition and basic properties. Examples. Applications of Hankel integral transform in engineering mechanics. Free vibration of a large circular membrane. Steady temperature distribution in a semi-infinite solid with a steady heat source. Axisymmetric biharmonic equation.

Theme 8. Engineering viscoelasticity. Viscoelastic models for one dimensional structures

Newton's law of viscous deformation. Behaviors of viscoelastic material. Creep test of a viscoelastic rod. Creep compliance. Stress relaxation. Dynamic loading. Maxwell model. Kelvin-Voigt model. Zener model. Boltzmann superposition principle. Generalized Kelvin-Voigt and Maxwell models with n elements. Viscoelastic stress analysis.

Theme 9. Semi analytical methods in structural analysis

Collocation method. Integral least squares method. Galerkin method. Residue function. Numerical implementation for semi-analytical methods. Convergence analysis. Examples.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения 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	Axial deformation, torsion. Differential equation approach	2			4			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач, отчет по лабораторной работе
2	Bending. Differential equation of an elastic curve and its solution	2			4			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач, отчет по лабораторной работе
3	Beams on elastic foundation	2			4			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач, отчет по лабораторной работе
4	Laplace integral transform and its application in structural engineering	2			4			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач, отчет по лабораторной работе
5	Fourier integral transform and its application in structural engineering	2			4			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач, отчет по лабораторной работе

6	Fourier series and its application in structural dynamics	2			4			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач, отчет по лабораторной работе
7	Hankel integral transform and its application in structural engineering	2			4			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач, отчет по лабораторной работе
8	Engineering viscoelasticity. Viscoelastic models for one dimensional structures	2			4			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач, отчет по лабораторной работе
9	Semi analytical methods in structural analysis	2			4			Вопросы для самопроверки, устный опрос, решение задач, отчет по лабораторной работе
	Bcero	18			36			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Debnath L., Bhatta D. Integral transforms and their applications. 3rd ed. CRC Press, 2015. – 777 с.
2. Chandrasekharan, K. Classical Fourier Transforms / Komaravolu Chandrasekharan. - Berlin [etc.] : Springer-Verlag, 1989. - 172 с.
3. Rogosin, S. V. Analytic Methods of Analysis and Differential Equations : AMADE, 2009 / S. V. Rogosin. - Cambridge : Cambridge Scientific Publishers, 2012. - xviii, 189 с.

Перечень дополнительной литературы

4. Davies B. Integral transforms and their applications. 3rd ed. – Springer, 2002. – 367 с.
5. Dyke P.P.G. An introduction to Laplace transforms and Fourier series. Springer, 1999. – 250 p.
6. Kantorovich L.V., Krylov V.I. Approximate methods of higher analysis. Interscience publishers, inc. 1958. – 681 с.
7. O'neil. P.V. Advanced engineering mathematics. 8th ed. Cengage Learning, 2017. – 1024 с.
8. Paz M., Kim Y.H. Structural dynamics. Theory and computation, 6th edition. – Springer, 2019. – 634 с.

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 «Analytical methods in structural engineering» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- вопросы для самопроверки;
- устный опрос;
- отчеты по лабораторным работам;
- 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 «Analytical methods in structural engineering» 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 %;
- отчет по лабораторной работе – 70 %.

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

Примерный перечень заданий для лабораторных работ

Theme 1. Axial deformation, torsion. Differential equation approach. (4 ч)

форма контроля – отчет по лабораторной работе.

Theme 2. Bending. Differential equation of an elastic curve and its solution (4 ч.)

форма контроля – отчет по лабораторной работе.

Theme 3. Beams on elastic foundation (4 ч.)

форма контроля – отчет по лабораторной работе.

Theme 4. Laplace integral transform and its application in structural engineering (4 ч.)

форма контроля – отчет по лабораторной работе.

Theme 5. Fourier integral transform and its application in structural engineering (4 ч.)

форма контроля – отчет по лабораторной работе.

Theme 6. Fourier series and its application in structural dynamics (4 ч.)

форма контроля – отчет по лабораторной работе.

Theme 7. Hankel integral transform and its application in structural engineering (4 ч.)

форма контроля – отчет по лабораторной работе.

Theme 8. Engineering viscoelasticity. Viscoelastic models for one dimensional structures (4 ч.)

форма контроля – отчет по лабораторной работе.

Theme 9. Semi analytical methods in structural analysis (4 ч.)

форма контроля – отчет по лабораторной работе.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

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

- освоение содержание 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

1. Самостоятельная работа в процессе работы с литературой.

Просмотрите конспект сразу после занятий. Пометьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания.

Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу.

Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Каждую неделю рекомендуется отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

2. Самостоятельная работа по составлению конспекта.

1. Соберите литературу по теме. Изучите тот источник, где она изложена наиболее полно и на современном уровне.

2. По этому источнику составьте подробный план с указанием страниц книги, относящихся к определенному пункту плана.

3. Изучите другие источники. Если в них встречается материал по уже имеющемуся пункту плана, запишите в плане и новый источник с указанием страниц. Если же в другом источнике материал раскрывает тему с другой стороны, добавьте еще пункт плана.

4. Проанализировав всю литературу, собранную по теме, вы получите окончательный план, по которому можно писать конспект, объединяя по пунктам материал из разных источников.

5. Отредактируйте составленный вами конспект, внимательно прочтите его и подумайте: - удовлетворяет ли вас его общий план; - хорошо ли воспринимается смысловая, логическая связь между отдельными элементами содержания; - удачно ли использованы цитаты, правильно ли установлена связь между оборотами речи и фразами; - верно ли поставлены знаки препинания в цитатах.

3. Подготовка к лабораторным занятиям

Назначение лабораторных занятий - углубление и проработка теоретического материала предмета путем регулярной и планомерной самостоятельной работы студентов на протяжении всего курса. 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.

4. Подготовка к экзамену

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. Часто незнание терминологии мешает студентам воспринимать материал на занятиях на должном уровне.

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 экзамену

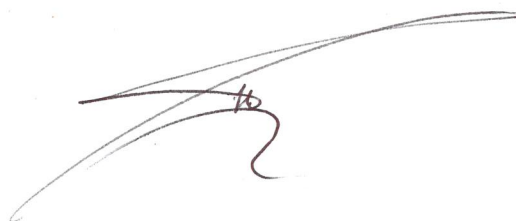
1. Definition of stress. Stress tensor.
2. Differential equation of equilibrium for element of axially loaded bar. Differential equation approach for deflections.
3. Torsion of circular elastic bars: angle-of-twist and shear stresses calculation.
4. Differential equation approach for torsion problem.
5. Elastic flexure formula. Compatibility condition and calculation of normal stresses in pure bending.
6. Differential equations of equilibrium for a beam element.
7. Differential equation of elastic curve and related boundary-value problems.
8. Mathematical model of one- and two-parametric elastic foundations.
9. Boundary value problems for a beam on elastic foundation.
10. Methods of integration of the differential equation for elastic curve.
11. Laplace direct and inverse transform. Basic properties of Laplace integral transform.
12. Application of Laplace transform to the boundary value problem for a finite and semi-infinite beams.
13. Application of Laplace transform to the boundary value problem for a beam on elastic foundation.
14. Fourier direct and inverse transform. Basic properties of Fourier integral transform.
15. Vertical deflections of an infinite beam on elastic foundation.
16. Application of Fourier transform to the one-dimensional wave equation.
17. Fourier series. Basic properties of Fourier series.
18. Applications of Fourier series to the wave equation.
19. Wave motion on an interval. Non-homogeneous wave equation.
20. Vibrations of a rectangular plate.

21. Application of Fourier transform to the heat equation.
22. Hankel integral transform: definition and basic properties.
23. Free vibration of a large circular membrane.
24. Steady temperature distribution in a semi-infinite solid with a steady heat source.
25. Axisymmetric biharmonic equation.
26. Behaviors of viscoelastic material. Creep test of a viscoelastic rod. Creep compliance. Stress relaxation.
27. Maxwell model, Kelvin-Voigt model, Zener model for a viscoelastic material.
28. Boltzmann superposition principle.
29. Generalized Kelvin–Voigt and Maxwell models with n elements.
30. Collocation method.
31. Integral least squares method.
32. Galerkin method.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

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
дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики
д-р физ.-мат. наук,
профессор



М.А. Журавков

**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 _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета
