

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета авиационной и морской
техники
О.А. Красильникова

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Вычислительная механика»

| | |
|---|--|
| Направление подготовки | 24.05.07 «Самолето- и вертолетостроение» |
| Направленность (профиль) образовательной программы | «Самолетостроение» |

| |
|------------------------------|
| Обеспечивающее подразделение |
| Кафедра «Авиастроение» |

Комсомольск-на-Амуре 2024

Разработчик рабочей программы:

Профессор кафедры «Авиастроение», доцент, доктор физико-математических наук

Бормотин К.С

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой
«Авиастроение»

Марьин С.Б.

1 Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Вычислительная механика» составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 877 от 04.08.2020, и основной профессиональной образовательной программы подготовки «Самолетостроение» по направлению 24.05.07 Самолето- и вертолетостроение.

| | |
|------------------------------------|--|
| Задачи дисциплины | <ul style="list-style-type: none"> - Рассмотреть численные методы и основы технологии конечно-элементного анализа; - Рассмотреть возможностями современных конечно-элементных программных комплексов для решения задач механики; - Формирование умения и навыков использования конечно-элементных программных комплексов для проведения расчетов напряженно-деформированного состояния конструкций. |
| Основные разделы / темы дисциплины | <p>Раздел 1. Основные положения метода конечных элементов:</p> <p>Раздел 2. Метод конечных элементов в плоском напряженном и плоском деформированном состоянии:</p> <p>Раздел 3. Метод конечных элементов для трехмерных конструкций:</p> <p>Раздел 4. Функции формы элемента. Численное интегрирование.</p> <p>Раздел 5. Конечно-элементный анализ пластин и оболочек.</p> <p>Раздел 6. Задачи о стационарных полях. Динамические уравнения при периодической нагрузке.</p> <p>Раздел 7. Собственные частоты и формы колебаний.</p> <p>Раздел 8. Физически нелинейные задачи.</p> |

2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины «Вычислительная механика» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения | Планируемые результаты обучения по дисциплине |
|---|--|---|
| Общепрофессиональные | | |
| ОПК-5 Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач | <p>ОПК-5.1 Знает физические и математические модели процессов изготовления деталей, узлов и агрегатов авиационных конструкций</p> <p>ОПК-5.2 Умеет использовать методы физического и математического моделирования</p> <p>ОПК-5.3 Умеет применять основные методы физико-математического анализа для решения конкретных инженерных задач</p> | <p><i>Знать:</i> основные соотношения метода конечных элементов, используемые для решения задач механики деформируемого твердого тела.</p> <p><i>Уметь:</i> использовать конечно-элементные программные комплексы для проведения инженерных расчетов конструкций на прочность и жесткость.</p> <p><i>Владеть:</i> навыками работы с современными системами компьютерного инжиниринга (CAE-системами).</p> |

3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в состав блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к обязательной части.

Место дисциплины (этап формирования компетенции) отражено в схеме формирования компетенций, представленной в документе *Оценочные материалы*, размещенном на сайте университета www.knastu.ru / *Наш университет* / *Образование* / *Самолето- и вертолетостроение* / *Оценочные материалы*).

Дисциплина «Вычислительная механика» частично реализуется в форме практической подготовки. Практическая подготовка организуется путем проведения / выполнения лабораторных работ, самостоятельных работ.

4 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебной работы

4.1 Структура и содержание дисциплины для очной формы обучения

Дисциплина «Вычислительная механика» изучается на 4, 5 курсах в 8, 9 семестрах.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч., в том числе контактная работа обучающихся с преподавателем 98 ч., промежуточная аттестация в форме зачета, зачета с оценкой, самостоятельная работа обучающихся 120 ч.

| Наименование разделов, тем и содержание материала | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах) | | | | | |
|---|--|----------------------|---------------------|-----|---------------|-----|
| | Контактная работа преподавателя с обучающимися | | | ИКР | Пром. аттест. | СРС |
| | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | | | |
| 8 семестр, 4 курс | | | | | | |
| Раздел 1. Основные положения метода конечных элементов. | | | | | | |
| Тема 1. Конечные элементы упругой среды. <i>Свойства конечных элементов. Метод перемещений. Эквивалентные узловые силы. Метод перемещений как минимизация полной потенциальной энергии. Архитектура MSC.Patran.</i> | 3 | | | | | 2 |
| Тема 2. Обобщение понятия конечных элементов. <i>Вариационные задачи. Критерии сходимости. Неузловые параметры. Метод Галеркина.</i> | 2 | | | | | 2 |
| Тема 3. Расчет МКЭ пространственной стержневой конструкции. | | | 6* | | | 2 |
| Раздел 2. Метод конечных элементов в плоском напряженном и плоском деформиро- | | | | | | |

| Наименование разделов, тем и содержание материала | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах) | | | | | |
|---|--|----------------------|---------------------|-----|---------------|-----|
| | Контактная работа преподавателя с обучающимися | | | ИКР | Пром. аттест. | СРС |
| | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | | | |
| ванном состоянии. | | | | | | |
| Тема 1. Треугольные конечные элементы. <i>Функции перемещений. Матрица деформаций. Начальная деформация.</i> | 1 | | | | 3 | |
| Тема 2. Матрица жесткости. Объемные силы. <i>Матрица упругости для плоского напряженного состояния и для плоского деформированного состояния в изотропном материале. Анизотропные материалы. Матрица жесткости. Узловые силы.</i> | 2 | | | | 3 | |
| Тема 3. Расчет МКЭ плоской задачи теории упругости. | | | 8* | | 10 | |
| Раздел 3. Метод конечных элементов для трехмерных конструкций. | | | | | | |
| Тема 1. Исследование трехмерного напряженного состояния. <i>Функции перемещений. Матрица деформаций. Матрица упругости. Матрица жесткости, напряжений и нагрузок.</i> | 2 | | | | 3 | |
| Тема 2. Расчет МКЭ объемной задачи теории упругости. | | | 10* | | 10 | |
| Раздел 4. Функции формы элемента. Численное интегрирование. | | | | | | |
| Тема 1. Прямоугольные элементы. <i>Лагранжево и Сирендипово семейство. Прямоугольные призмы.</i> | 2 | | | | 5 | |
| Тема 2. Семейство треугольных элементов. <i>L-координаты. Функции формы. Тетраэдральные элементы.</i> | 2 | | | | 5 | |
| Тема 3. Вычисление матриц элемента в криволинейных координатах. <i>Геометрическое соответствие элементов. Условие непрерывности неизвестной функции. Вычисление матриц элемента. Квадратура Ньютона-Котеса, Гаусса.</i> | 2 | | | | 5 | |

| Наименование разделов, тем и содержание материала | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах) | | | | | |
|---|--|----------------------|--|----------|---------------|------------|
| | Контактная работа преподавателя с обучающимися | | | ИКР | Пром. аттест. | СРС |
| | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | | | |
| Тема 4. Метод ISO MESH для построения сетки конечных элементов. Функция для построения конечно-элементной модели конструкции. Пост-процессорная обработка результатов. | | | 8 | | | 10 |
| <i>Зачет</i> | - | - | - | - | - | - |
| 9 семестр, 5 курс | | | | | | |
| Раздел 5. Конечно-элементный анализ пластин и оболочек | | | | | | |
| Тема 1. Формулировка задач об изгибе пластин. | 2 | | | | | |
| Тема 2. Задача об изгибе пластин. | | | 8* | | | |
| Тема 3. Формулировка задач для оболочечных элементов | 2 | | | | | |
| Тема 4. Задача об изгибе оболочки. | | | 8* | | | |
| Тема 5. Формулировка задач для толстостенных оболочечных элементов | 2 | | | | | |
| Раздел 6. Задачи о стационарных полях. Динамические уравнения при периодической нагрузке. | | | | | | |
| Тема 1. Задачи о стационарных полях. Экстремальная проблема. Динамические уравнения при периодической нагрузке. | 4 | | | | | |
| Тема 2. Решение динамических задач | | | 8* | | | |
| Раздел 7. Собственные частоты и формы колебаний | | | | | | |
| Тема 1. Решение задачи о собственных значениях | 2 | | | | | |
| Раздел 8. Физически нелинейные задачи | | | | | | |
| Тема 1. Общие подходы. Метод Ньютона-Рафсона. Пластичность. Ползучесть. | 4 | | | | | |
| Тема 2. Решение геометрически и физически нелинейных задач | | | 8* | | | |
| <i>Зачет с оценкой</i> | - | - | - | - | - | - |
| ИТОГО по дисциплине | 32 | 0 | 64 в том числе в форме практи- | 0 | 0 | 120 |

| Наименование разделов, тем и содержание материала | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах) | | | | | |
|---|--|----------------------|----------------------|-----|---------------|-----|
| | Контактная работа преподавателя с обучающимися | | | ИКР | Пром. аттест. | СРС |
| | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | | | |
| | | | ческой подготовки:64 | | | |

* реализуется в форме практической подготовки

5 Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Фонды оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обсуждаются и утверждаются на заседании кафедры. Полный комплект контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю) хранится на кафедре-разработчике в бумажном или электронном виде, также фонды оценочных средств доступны студентам в личном кабинете – раздел учебно-методическое обеспечение.

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

6.1 Основная и дополнительная литература

Перечень рекомендуемой основной и дополнительной литературы представлен на сайте университета www.knastu.ru / *Наш университет / Образование / Самолето- и вертолетостроение / Рабочий учебный план / Реестр литературы.*

6.2 Методические указания для студентов по освоению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

При самостоятельной проработке курса обучающиеся должны:

- просматривать основные определения и факты;
- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- изучить рекомендованную литературу, составлять тезисы, аннотации и конспекты наиболее важных моментов;

- самостоятельно выполнять задания, аналогичные предлагаемым на занятиях;
- использовать для самопроверки материалы фонда оценочных средств.

6.3 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Каждому обучающемуся обеспечен доступ (удаленный доступ), в том числе в случае применения электронного обучения, дистанционных образовательных технологий, к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, с которыми у университета заключен договор.

Перечень рекомендуемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем представлен на сайте университета www.knastu.ru / *Наш университет / Образование / Самолето- и вертолетостроение / Рабочий учебный план / Реестр ЭБС.*

Актуальная информация по заключенным на текущий учебный год договорам приведена на странице Научно-технической библиотеки (НТБ) на сайте университета <https://knastu.ru/page/3244>

6.4 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

| Название сайта | Электронный адрес |
|---|---|
| Электронные информационные ресурсы издательства Springer Springer Journals | https://link.springer.com |
| Политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая база данных Web of Science | http://apps.webofknowledge.com |
| База данных международных индексов научного цитирования Scopus | https://www.scopus.com |
| Электронная платформа для доступа к регулярно обновляемым базам данных по материаловедению издательства Springer | https://materials.springer.com |
| Сетевая электронная библиотека (СЭБ) технических вузов на платформе ЭБС "Лань" (Ссылка на издания по авиационной и ракетно-космической технике) | https://e.lanbook.com/books/18167 |
| Издания Самарского государственного университета. | http://repo.ssau.ru/handle/01-Uchebnye-materialy/79?subject_page=1 |

7 Организационно-педагогические условия

Организация образовательного процесса регламентируется учебным планом и расписанием учебных занятий. Язык обучения (преподавания) - русский. Для всех видов аудиторных занятий академический час устанавливается продолжительностью 45 минут.

При формировании своей индивидуальной образовательной траектории обучающийся имеет право на перезачет соответствующих дисциплин и профессиональных модулей, освоенных в процессе предшествующего обучения, который освобождает обучающегося от необходимости их повторного освоения.

7.1 Образовательные технологии

Учебный процесс при преподавании курса основывается на использовании традиционных, инновационных и информационных образовательных технологий. Традиционные образовательные технологии представлены лекциями и семинарскими (практическими) занятиями. Инновационные образовательные технологии используются в виде широкого применения активных и интерактивных форм проведения занятий. Информационные образовательные технологии реализуются путем активизации самостоятельной работы студентов в информационной образовательной среде.

7.2 Занятия лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов учебного плана.

На первой лекции лектор обязан предупредить студентов, применительно к какому базовому учебнику (учебникам, учебным пособиям) будет прочитан курс.

Лекционный курс должен давать наибольший объем информации и обеспечивать более глубокое понимание учебных вопросов при значительно меньшей затрате времени, чем это требуется большинству студентов на самостоятельное изучение материала.

7.3 Занятия семинарского типа

Семинарские занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы.

Основной формой проведения семинаров является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях. В обязанности преподавателя входят: оказание методической помощи и консультирование студентов по соответствующим темам курса.

Активность на семинарских занятиях оценивается по следующим критериям:

- ответы на вопросы, предлагаемые преподавателем;
- участие в дискуссиях;
- выполнение проектных и иных заданий;
- ассистирование преподавателю в проведении занятий.

Ответ должен быть аргументированным, развернутым, не односложным, содержать ссылки на источники.

Доклады и оппонирование докладов проверяют степень владения теоретическим материалом, а также корректность и строгость рассуждений.

Оценивание заданий, выполненных на семинарском занятии, входит в накопленную оценку.

7.4 Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа студентов – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентом новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную и справочную документацию, специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности студентов, ответственности и организованности;

- формирование самостоятельности мышления, творческой инициативы, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений и академических навыков.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, уровня сложности, конкретной тематики.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов университета.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Студенты должны подходить к самостоятельной работе как к наиважнейшему средству закрепления и развития теоретических знаний, выработке единства взглядов на отдельные вопросы курса, приобретения определенных навыков и использования профессиональной литературы.

7.5 Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

При самостоятельной проработке курса обучающиеся должны:

- просматривать основные определения и факты;
- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- изучить рекомендованную литературу, составлять тезисы, аннотации и конспекты наиболее важных моментов;
- самостоятельно выполнять задания, аналогичные предлагаемым на занятиях;
- использовать для самопроверки материалы фонда оценочных средств.

8 Материально-техническое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

8.1 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Университет обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства. Состав программного обеспечения, необходимого для освоения дисциплины, приведен на сайте университета www.knastu.ru / *Наш университет* / *Образование* / *Самолето- и вертолетостроение* / *Рабочий учебный план* / *Реестр ПО*.

Актуальные на текущий учебный год реквизиты / условия использования программного обеспечения приведены на странице ИТ-управления на сайте университета:

<https://knastu.ru/page/1928>

8.2 Учебно-лабораторное оборудование

| Наименование аудитории (лаборатории) | Используемое оборудование |
|--|--|
| Ауд. 225 3 корпус Мультимедийный класс | Экран, мультимедиа проектор, персональные компьютеры |

8.3 Технические и электронные средства обучения

Лекционные занятия.

Аудитории для лекционных занятий укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории (наборы демонстрационного оборудования (проектор, экран, компьютер/ноутбук), учебно-наглядные пособия, тематические иллюстрации).

Лабораторные занятия.

Для лабораторных занятий используется аудитория, оснащенная оборудованием, указанным в табл. п. 8.2. Процесс обучения сопровождается использованием компьютерных программ: University MD FEA Bundle (Nastran, Patran, Marc), OnlyOffice.

Самостоятельная работа.

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом к электронной информационно-образовательной среде КНАГУ:

- зал электронной информации НТБ КНАГУ;
- компьютерные классы факультета.

9 Иные сведения

Методические рекомендации по обучению лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины обучающимися с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано как совместно с другими обучающимися, так и в отдельных группах. Предполагаются специальные условия для получения образования обучающимися с ограниченными возможностями здоровья.

Профессорско-педагогический состав знакомится с психолого-физиологическими особенностями обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, индивидуальными программами реабилитации инвалидов (при наличии). При необходимости осуществляется дополнительная поддержка преподавания тьюторами, психологами, социальными работниками, прошедшими подготовку ассистентами.

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. N АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений с другими студентами, создании комфортного психологического климата в студенческой группе. Подбор и разработка учебных материалов производятся с учетом предоставления материала в различных формах: аудиальной, визуальной, с использованием специальных технических средств и информационных систем.

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения (персонального и коллективного использования). Материально-техническое обеспечение предусматривает приспособление аудиторий к нуждам лиц с ОВЗ.

Форма проведения аттестации для студентов-инвалидов устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей. Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной или электронной форме (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- в печатной форме или электронной форме с увеличенным шрифтом и контрастностью (для лиц с нарушениями слуха, речи, зрения);
- методом чтения ассистентом задания вслух (для лиц с нарушениями зрения).

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге или набором ответов на компьютере (для лиц с нарушениями слуха, речи);
- выбором ответа из возможных вариантов с использованием услуг ассистента (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- устно (для лиц с нарушениями зрения, опорно-двигательного аппарата).

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.