

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Технология и оборудование машиностроительных
производств»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №9 от 16 апреля 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«САЕ-АНАЛИЗ»

Направление: 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств

Технология машиностроения

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Стрелков Алексей
Борисович
Дата подписания: 30.05.2025

Документ подписан простой электронной
подписью
Утвердил и согласовал: Пашков Андрей
Евгеньевич
Дата подписания: 02.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «САЕ-анализ» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ДК-1 Способность осуществлять деятельность, находящуюся за пределами основной профессиональной сферы	ДК-1.1

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ДК-1.1	Способен с использованием методов математического моделирования и систем инженерного анализа производить расчёты на прочность и долговечность деталей и узлов, выполнять оптимизацию конструкций	Знать теоретические и инженерные основы методы конечных элементов; основы расчёта конструкций в САЕ-системах Уметь выбирать и пользоваться современными информационными технологиями и средствами вычислительной техники с целью проведения диагностики объектов машиностроительных производств Владеть навыками компьютерного моделирования механических систем, повышения надёжности изделий с использованием средств автоматизированного проектирования

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «САЕ-анализ» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Математика», «Сопrotивление материалов», «Детали машин и основы конструирования», «Трёхмерное моделирование», «Механика», «Проектирование кинематики механизмов»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Технологическая оснастка», «Технология машиностроения», «Производственная практика: преддипломная практика»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 6
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	32	32

лекции	0	0
лабораторные работы	32	32
практические/семинарские занятия	0	0
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	76	76
Трудоемкость промежуточной аттестации	0	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет	Зачет

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 6

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Рынок САЕ систем и основные направления в развитии САЕ									Реферат
3	Основы метода конечных элементов			1	2			2, 3	22	Устный опрос
4	Основные типы конечных элементов			2	2					Устный опрос
5	Виды анализов в системе ЛОГОС и T-Flex Анализ			3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	28			1, 3	54	Устный опрос
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего				32				76	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 6

№	Тема	Краткое содержание
1	Рынок САЕ систем и	Общие сведения о САЕ-системах, история

	основные направления в развитии CAE	развития мирового рынка систем инженерного анализа, состояние IT-отрасли в целом. Основные продукты CAE систем, обзор их возможностей.
3	Основы метода конечных элементов	Метод конечных элементов (МКЭ) относится к вариационно-разностным методам и имеет в своей основе представление исходной области со сложной формой границ в виде совокупности простых подобластей (конечных элементов). Представление исследуемой области совокупностью под областей имеет смысл дискретизации континуальной задачи, то есть замены бесконечно большого числа степеней свободы реального тела приближенно эквивалентным, но конечным числом степеней свободы. Последующий вывод разрешающих уравнений для совокупности конечных элементов из вариационных принципов механики определяет вариационный характер метода. Основным достоинством МКЭ является возможность получения с той или иной степенью точности решения любых практических задач механики твердого деформируемого тела
4	Основные типы конечных элементов	Конечные элементы могут описываться одной, двумя или тремя пространственными координатами в зависимости от размерности задачи, для решения которой они предназначены. Соответствующее число внутренних или локальных координат называется собственной размерностью элемента. В динамическом анализе время рассматривается как дополнительная размерность. Отметим, что в расчетах используются также специальные элементы с нулевой размерностью, такие как, точечные массы или сосредоточенные упругие элементы (пружины).
5	Виды анализов в системе ЛОГОС и T-Flex Анализ	Линейный статический анализ. Устойчивость конструкций. Динамический анализ конструкций. Нелинейный статический и динамический анализ. Виды оптимизаций в инженерном анализе. Моделирование гидрогазодинамических процессов. Моделирование композитных конструкций. Гидродинамика и Аэродинамика

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 6

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Введение в среду инженерного анализа системы Логс	2
2	Построение и редактирование сеток	2

3	Линейный анализ устойчивости	2
4	Расчет НДС пластины	2
5	Расчет НДС фермы	2
6	Расчет деформирования балочной конструкции под действием приложенного момента	2
8	Расчет НДС корпуса опоры авиационного двигателя	2
9	Статическое упругопластическое деформирование лопатки вентилятора	2
10	Моделирование болтового соединения	1
11	Преднатяг болта. Расчет НДС с контактом	1
12	Использования оболочечно-объемного элемента	1
13	Использования балочно-объемного элемента	1
14	Задача деформирования цилиндрического образца	2
15	Расчет НДС системы «вал-втулка» при посадке с натягом	2
16	Численное моделирование разрушения сварных соединений	2
17	Численное моделирование процесса статического деформирования кронштейна в нелинейном приближении с использованием пользовательского материала и критерия разрушения	2
18	Моделирование воздействия сферическим ударником по плоской мишени	2
19	Расчет собственных частот и форм колебаний корпуса опоры	1
20	Расчет собственных частот и форм колебаний балки (с заданным диапазоном частот)	1

4.4 Перечень практических занятий

Практических занятий не предусмотрено

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 6

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	14
2	Проработка разделов теоретического материала	10
3	Решение специальных задач	52

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Компьютерные симуляции; Мастер-класс

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

1. Стрелков, Алексей Борисович. Основы инженерного анализа в системе NX Advanced Simulation: учебное пособие для студентов, изучающих дисциплину "CAE-системы" в рамках подготовки бакалавров / А. Б. Стрелков ; Иркут. нац. исслед. техн. ун-т. - Иркутск : ИРНИТУ, 2019. - 160 с. [Электронный ресурс:
<http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-21708.pdf>]
2. Ссылка на ЭОР в системе MOODLE по курсу: CAE-анализ
<https://el.istu.edu/course/view.php?id=5191>

5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Ссылка на ЭОР в системе MOODLE по курсу: CAE-анализ
<https://el.istu.edu/course/view.php?id=5191>

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 6 | Реферат

Описание процедуры.

Варианты тем рефератов по разделу «Рынок CAE систем и основные направления в развитии CAE»:

- 1 Современные инструменты инженерного анализа
- 2 Использование систем инженерного анализа для повышения качества проектирования
- 3 Мировой рынок CAD/CAE-систем
- 4 Развитие систем автоматизированного проектирования
- 5 Решение инженерных задач в машиностроении
- 6 Топологическая оптимизация

Реферат предоставляется в электронном виде

Критерии оценивания.

“Зачтено” выставляется если:

1. Структура и содержание:
 - План полностью соответствует заявленной теме
 - Содержание строго следует плану
 - Основные понятия и проблемы раскрыты полно и глубоко
 - Логическая последовательность в изложении материала
2. Работа с источниками:
 - Использован широкий круг литературы
 - Привлечены актуальные научные публикации
 - Правильно оформлены ссылки на источники
3. Оформление и стиль:
 - Корректно использован профессиональный терминологический аппарат
 - Соблюдены требования к объему
 - Грамотное оформление (абзацы, отступы)
 - Минимальное количество орфографических и пунктуационных ошибок
 - Отсутствие необоснованных сокращений
4. Защита работы:
 - Четкие и полные ответы на дополнительные вопросы

- Умение аргументировать основные положения
- Понимание проблематики исследования
- “Незачтено” выставляется если:
 1. Фундаментальные нарушения:
 - Тема реферата не раскрыта
 - Обнаружено существенное непонимание проблемы
 - Текст полностью скопирован из интернета или сгенерирован с помощью ИИ
 2. Серьезные недочеты:
 - Грубые нарушения в структуре работы
 - Отсутствие ссылок на использованные источники
 - Множество фактических ошибок
 - Существенные нарушения в оформлении
 3. При защите:
 - Не отвечает на базовые вопросы по теме
 - Неспособен объяснить использованные источники

6.1.2 семестр 6 | Устный опрос

Описание процедуры.

Устный опрос проводится следующим образом: преподаватель задает вопрос группе или конкретному студенту, при этом используются различные формы работы - фронтальный опрос всей группы, индивидуальный развернутый ответ, комбинированные формы с включением письменных заданий и практических задач, в процессе опроса оценивается полнота и правильность ответа, степень понимания материала и качество изложения, а по итогам преподаватель дает развернутую обратную связь, выставляет оценки и определяет направления для дальнейшей работы над материалом.

Раздел 1 Рынок САЕ систем и основные направления в развитии САЕ

1. Какие системы инженерного анализа Вы знаете?
2. Задачи, решаемые с помощью систем инженерного анализа.
3. Требования предъявляемые к САЕ системам.
4. Каково главное преимущество использования средств САЕ в процессе разработки?
5. Дайте классификацию систем инженерного анализа.
6. В каких отраслях САЕ-системы получили наибольшее распространение и почему?
7. Назовите направления развития САЕ-технологий на ближайшие годы.
8. Задачи инженерного анализа и требования к их реализации.
9. Какие подходы существуют к интеграции CAD и САЕ?

Раздел 3 Основы метода конечных элементов

- 1 В чем суть (основная идея) метода конечных элементов?
- 2 Степени свободы.
- 3 Что такое дискретизация расчётной области конструкции при расчёте МКЭ?
- 4 Перечислите основные шаги общего алгоритма статического расчёта по МКЭ?
- 5 Матрица жёсткости конечного элемента. Её структура. Связь между перемещениями узлов элемента и усилиями, действующими на них.
- 6 Дайте определение числовой матрице.
- 7 Какая матрица называется квадратной, прямоугольной, единичной, матрицей-вектором?
- 8 Как складываются, вычитаются и перемножаются матрицы?
- 9 Что такое обратная матрица и для чего она используется?
- 10 Каков смысл коэффициентов матрицы влияния изгибающих моментов?
- 11 По каким формулам вычисляются элементы матрицы жёсткости конечного элемента?

- 12 По каким формулам вычисляются элементы матрицы геометрической жёсткости конечного элемента?
- 13 Сформулируйте метод разложения по собственным формам?
- 14 Какие типы конечных элементов используются для задач механики деформируемого тела.
- 15 С помощью каких элементов возможна передача силовых и кинематических условий от одной части конструкции к другой.
- 16 Способы создания КЭ сеток.

Раздел 4 Основные типы конечных элементов

- 1 Конечные элементы, их типы.
- 2 Степени свободы конечного элемента. Конечно-элементная расчётная схема. Приведение нагрузки на систему к узловой.
- 3 При решении каких задач целесообразно использовать 1D элементы.
- 4 При решении каких задач целесообразно использовать 2D элементы.
- 5 При решении каких задач целесообразно использовать 3D элементы

Раздел 5 Виды анализов в системе Логос и T-Flex Анализ

- 1 Какие типы конечных элементов используются для задач механики деформируемого тела.
- 2 С помощью каких элементов возможна передача силовых и кинематических условий от одной части конструкции к другой.
- 3 Какие типы анализа возможно использовать Логос и T-Flex Анализ.
- 4 Способы создания КЭ сеток.
- 5 При решении каких задач целесообразно использовать двухмерные 2D элементы.
- 6 Для чего предназначен статический анализ.
- 7 С какой целью выполняется проверка качества элементов сетки.
- 8 Что такое прочность, жёсткость, устойчивость и надёжность.
- 9 Виды нагружения (виды деформаций).
- 10 Основные критерии работоспособности и расчёта деталей машин.
- 11 Какие недостатки присущи линейному анализу.
- 12 Основные ограничения при решении линейной задачи о потере устойчивости.
- 13 С какой целью проводится нелинейный анализ устойчивости.
- 14 Основные механические свойства материалов (определения).
- 15 Допускаемые напряжения. Условие прочности материала.
- 16 Перечислите основные шаги для решения задачи по методу конечных элементов?
- 17 Какие основные виды конечных элементов вы знаете?
- 18 Какие типы элементов применяются для моделирования стержневых конструкций?
- 19 Какие типы элементов используются для моделирования демпфирующих элементов?
- 20 Способы создания балочного элемента?

Критерии оценивания.

При оценивании устного опроса учитываются три основных критерия: полнота и правильность ответа, степень осознанности и понимания изученного материала, а также качество языкового оформления ответа, при этом положительный результат засчитывается при условии развёрнутого и логически последовательного сообщения на заданную тему.

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ДК-1.1	Знает современные инструменты инженерного анализа. Уверенно выполняет основные типы анализов конструкций. Отвечает на вопросы самостоятельно, приводя свои примеры	Собеседование по теоретическим вопросам и выполнение практического задания

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 6, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Процедура зачёта осуществляется на основе СТО 015-2018 «Система менеджмента качества. Учебно-методическая деятельность. Контроль успеваемости студентов».

Зачёт проводится только при наличии ведомости и надлежащим образом оформленной зачетной книжки.

Критерии оценки ответа студента на зачете, а также форма его проведения доводятся преподавателем до сведения студентов до начала зачета.

Во время проведения зачетов студенты могут пользоваться рабочими программами дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Ответ на теоретические вопросы проводится в устном виде, в перечень включаются вопросы из различных разделов курса, позволяющие проверить и оценить теоретические знания студентов и умение применять их для решения практических задач с использованием прикладных пакетов, указанных в пункте 10. Минимальное время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на зачёте, должно составлять 45 минут. По истечении этого времени студент обязан быть готовым к ответам.

Нарушения студентом дисциплины на зачете пресекаются экзаменатором вплоть до удаления с зачета.

Присутствие на зачетах посторонних лиц без разрешения ректора, проректора по учебной работе, декана или заведующего кафедрой не допускается, кроме лиц, осуществляющих проверку.

Если студент явился на зачет и отказался от ответа, то студенту проставляется в ведомость «не зачтено».

Пример задания:

1. Необходимо рассчитать в линейной постановке коэффициент запаса устойчивости стержня, жестко закрепленного с одного конца, под действием сжимающей силы.
2. Выполнить расчет прочности сварного соединения
3. Выполнить анализ долговечности конструкции.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Оценки «зачтено» заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного и нормативного материала, умеющий свободно выполнять задания, предусмотренные программой, демонстрирующий систематический характер знаний по дисциплине и способный к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности	Оценка «незачтено» выставляется обучающимся, обнаружившим пробелы в знаниях основного учебного материала, допускающим принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Такой оценки заслуживают ответы, носящие несистематизированный, отрывочный, поверхностный характер, когда обучающийся не понимает существа излагаемых им вопросов.

7 Основная учебная литература

1. Стрелков А. Б. Основы инженерного анализа в системе NX Advanced Simulation : учебное пособие для студентов, изучающих дисциплину "CAE-системы" в рамках подготовки бакалавров / А. Б. Стрелков, 2019. - 160.
2. Потемкина С. П. Введение в метод конечных элементов [Электронный ресурс] : лекции по спецкурсу методическое пособие для студентов авиастроительных специальностей / С. П. Потемкина, 2003. - 35.
3. Малюх В. Н. Введение в современные САПР : курс лекций / В. Н. Малюх, 2010. - 190.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Агапов В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций : учеб. пособие для вузов по специальности "Пром. и гражд. стр-во" направления подгот. дипломиров. специалистов "Стр-во" / В. П. Агапов, 2004. - 247.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике : пер. с англ. / О. Зенкевич; ред. Б. Е. Победри, 1975. - 541.
3. Сабоннадьер Ж.-К. Метод конечных элементов и САПР / Ж.-К. Сабоннадьер, Ж.-Л. Кулон, 1989. - 192.
4. Формалев В. Ф. Метод конечных элементов в задачах теплообмена : учеб. пособие / В. Ф. Формалев; Моск. авиац. ин-т им. Серго Орджоникидзе, 1991. - 63.
5. Данилов Ю. В. Практическое использование NX : учебное пособие / Ю. В. Данилов, И. А. Артамонов, 2011. - 331.
6. NX для конструктора-машиностроителя : учебное пособие / П. С. Гончаров [и др.], 2010. - 498.
7. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran / С. П. Рычков, 2016. - 783.
8. Кольцов В. П. Инженерный анализ механических систем : учебное пособие / В. П. Кольцов, Е. С. Попова, В. Б. Ракицкая, 2014. - 118.

9. Бутко А. О. Основы моделирования в САПР NX : учебное пособие для вузов по направлению подготовки 09.03.01 (230100) "Информатика и вычислительная техника" / А. О. Бутко, В. А. Прудников, Г. А. Цырков, 2016. - 198.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>
3. <http://www.cad-cam-cae.ru/>
4. <http://www.ansysolutions.ru/>
5. www.siemens.com
6. <http://cae-expert.ru>
7. <http://www.cadcamcae.lv>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>
5. Научная электронная библиотека URL: <https://www.elibrary.ru/>
6. Российская Государственная Библиотека URL: <https://www.rsl.ru/>
7. Российская национальная библиотека URL: <http://nlr.ru/>
8. Национальная электронная библиотека URL: <https://rusneb.ru/>
9. Научная электронная библиотека «КИБЕРЛЕНИНКА» URL: <https://cyberleninka.ru/>
10. База данных Web of Science URL: <https://apps.webofknowledge.com/>
11. База данных Scopus URL: <https://www.scopus.com/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Siemens NX 1899 Academic CAD+CAM (учебная)_обновление 2019 _50 р.м.
2. T-FLEX
3. ЛОГОС

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Компьютер Intel Core i7/DDR 8Gb/HDD 1Tb/GF 2Gb/DVDRW/LCD 23"/ИБП