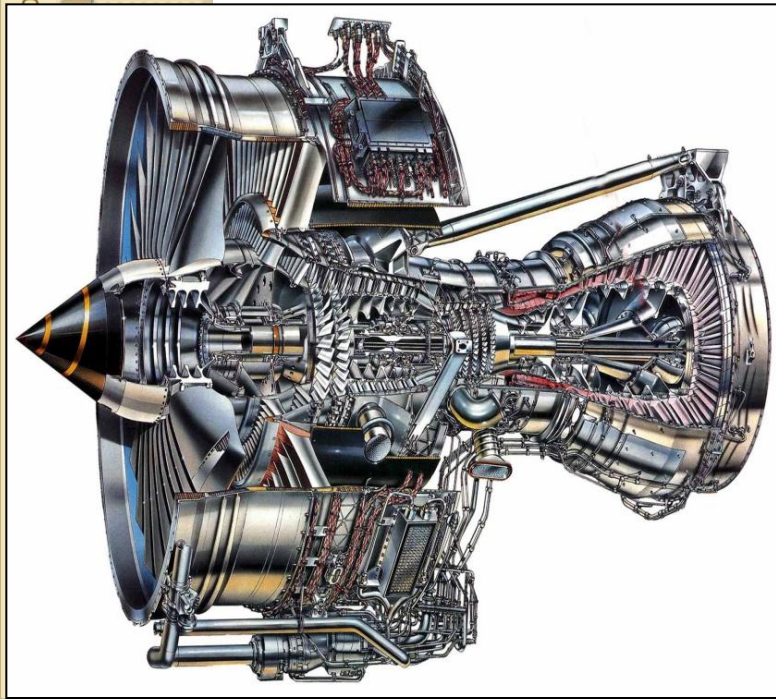


ИНЖЕНЕРНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Цель дисциплины: *Углубление систематизированного знания: об основных классах инженерных задач в области проектирования и испытаний газотурбинных двигателей и методах их решения с использованием систем компьютерной математики; о возможностях универсального математического пакета MATLAB для решения инженерных и научных задач, овладение навыками практического использования пакета MATLAB для проведения вычислений и визуализации данных.*

Фев И.П., 2015г.

ТЕХНОЛОГИИ



использовать прикладные программные средства при решении

осуществлять расчёты параметров рабочего процесса, нагруженности, оптимизацию проектирования авиационных двигателей, их узлов и элементов;

осуществлять прочностные расчёты и осуществлять проектирование авиационных двигателей;

разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов авиационных двигателей, их узлов и элементов, проводить обработку и анализ

ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

- **изучение** последовательности действий при разработке и проведении вычислительного эксперимента: концептуальная и математическая постановки задачи; выбор метода решения; оценка суммарной погрешности эксперимента; анализ полученных результатов и обоснование выводов о корректности постановки задачи.
- **формирование умения** ориентироваться в существующих системах компьютерной математики и обоснованно выбирать программные продукты для проведения математических вычислений при решении инженерных задач;
- **формирование навыков** работы с интегрированной средой математического пакета MATLAB в части численных методов решения задач, визуализации результатов вычислений и визуального программирования в приложении Simulink.

Всего часов: - **108** час.

- аудиторные занятия - **50 час** (лекции – **18 час.**, лабораторные работы – **32 час.**)
- самостоятельная работа - **54 час.**

Итоговый контроль: **Зачет** – 6 семестр.

Зачёт по дисциплине выставляется в случае выполнения заданий и защиты всех лабораторных работ и положительных оценок по результатам контрольных работ.

КЛАССЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА АД

1. ЗАДАЧИ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ.

Авиационные (газотурбинные) двигатели относятся к классу тепловых двигателей, в которых рабочим телом является газ. В рабочем цикле двигателя происходят процессы: переноса массы газа, сжатия-расширения газовой среды, и т. д.

Изучением законов, которым подчиняются эти процессы занимается наука – **газовая динамика**.

□ **Закон сохранения массы**

Изменение массы для i -й компоненты в объеме происходит за счет втекания/вытекания этой компоненты через поверхность объема:

□ **Закон сохранения импульса**

Изменение количества движения объема газа равно сумме действующих поверхностных сил, создаваемых давлением:

□ **Закон сохранения энергии**

Поток энергии складывается из конвективного переноса энергии и работы

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \text{div}(\rho V E) = -\text{div}(P \vec{V})$$

Задачи газовой динамики обычно связаны с движением газа в канале с твердой поверхностью. Влияние поверхности на поток газа учитывается граничными условиями, которым должно удовлетворять решение основных уравнений движения.

2. ЗАДАЧИ ТЕРМОДИНАМИКИ И ТЕПЛОТЕХНИКИ.

Авиационные (газотурбинные) двигатели относятся к классу **тепловых** двигателей, когда полезная работа появляется в результате **подвода тепла** к рабочему телу.

Термодинамика - наука о закономерностях превращения энергии.

- Циклы газотурбинных двигателей (ГТД) в $p-v$ - и Ts - диаграммах.
- Анализ цикла ГТД с подводом теплоты при $p = \text{const}$ и регенеративного цикла.
- Определение термического КПД и методы его повышения.
- Задачи организации горения в камере сгорания.

3. ЗАДАЧИ АКУСТИКИ.

Широкий спектр задач связанных с изучением волновых процессов:

- распространение звуковых волн в различных материалах;
- эффективность поглощения и отражения энергии волн различными материалами;
- выбор способов организации систем шумоглушения.

4. ЗАДАЧИ ПРОЧНОСТИ.

Статическая, динамическая и усталостная прочность деталей двигателя (лопаток компрессоров и турбин, дисков, валов и т.п.).

- Определение собственных частот и форм колебаний (модальный анализ) деталей и узлов.
- Расчет и подбор способов демпфирования колебаний.
- Определение коэффициентов запаса долговечности деталей и узлов.
- Анализ накопления повреждений.
- Задачи повышения жаропрочности и коррозионной устойчивости материалов.

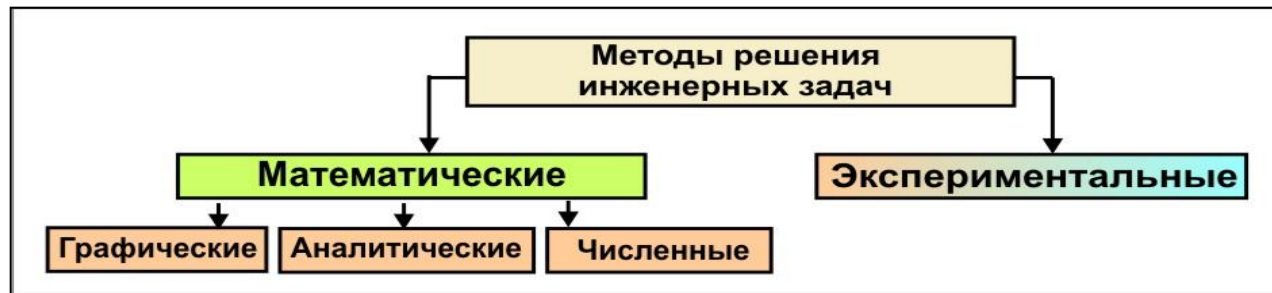
5. ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА.

Комплексный подход к решению задач прогнозирования ресурса.

Задачи сбора и статистической обработки данных по фактическому состоянию деталей узлов (параметров) двигателя, с целью прогнозирования остаточного ресурса.

...

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.



□ Графические

Позволяют оценивать порядок искомых величин и направление расчётных алгоритмов

□ Аналитические

Позволяют получать точные решения в виде математических формул. Эти методы дают наиболее полную информацию о решении задачи, и понимание физической сущности. Однако класс задач, для которого они могут использоваться, весьма ограничен.

□ Численные (вычислительные)

Это методы приближенного решения задач прикладной математики, основанные на реализации алгоритмов, соответствующих математическим моделям. Наука, изучающая численные методы, называется также **численным анализом**, или **вычислительной математикой**.

Численные методы, в отличие от аналитических, дают не общие, а частные решения. При этом требуется выполнить достаточное количество арифметических и логических действий над числовыми и логическими массивами.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.

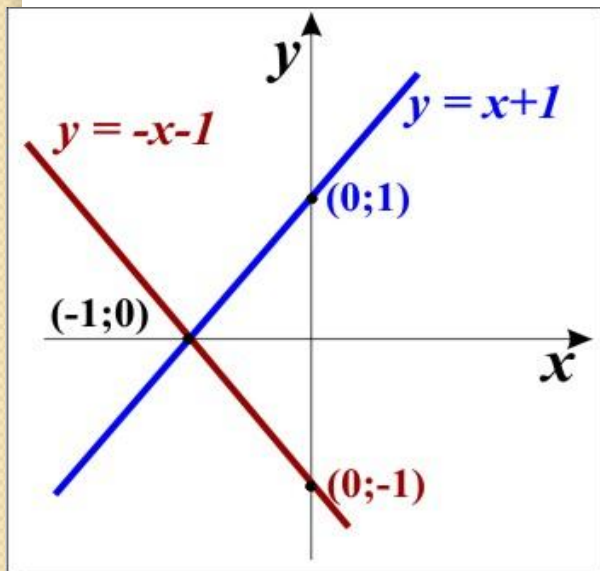
Графические методы решения.

Рассмотрим систему линейных уравнений

Пару чисел (x, y) которая одновременно является решением и первого и второго уравнения системы, называют **решением системы уравнений**.

Решить систему уравнений – это значит найти все её решения, или установить, что решений нет.

Пример 1. Решить систему



ком каждого из которых является прямая

а чисел $(x = -1; y = 0)$

решение линейной системы.

Возможные случаи:

Уникальное решение - прямые пересекаются;

Нет решений - прямые параллельны;

Бесконечное множество решений - прямые совпадают.

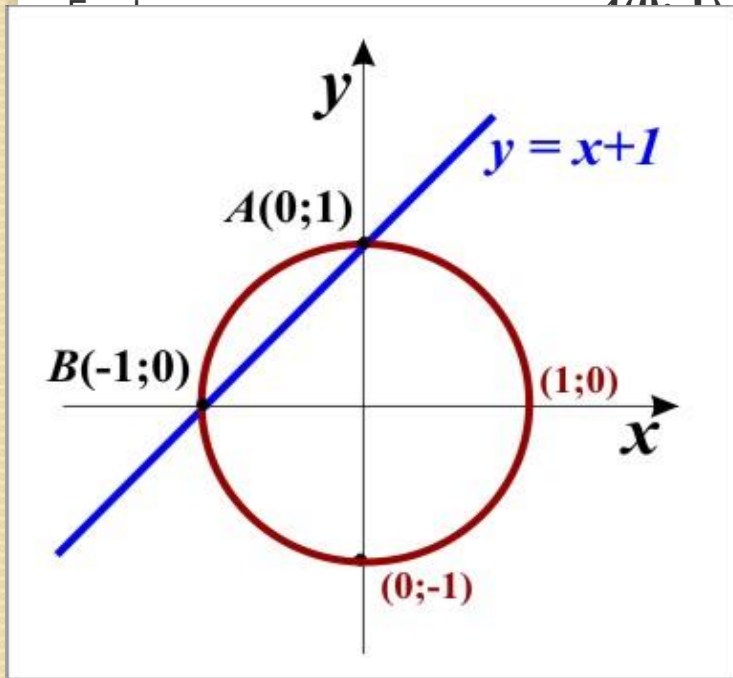
МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.

Графические методы решения.

Решить систему уравнений



График первого уравнения – прямая, график второго уравнения – окружность радиусом (1) с центром в точке (0;0)



$A(0; 1)$ $B(-1; 0)$.

ет пара значений

*каждого уравнения и найти координаты точек
а вполне достаточно.*

*т возможность найти только
мы или ответить на вопрос о количестве*

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.

Аналитические методы решения задач.

Пример 1. Решить уравнение .



Это линейное уравнение вида $kx = b$.

В начале рассмотрим три ветви решения, а по сути три задачи, на которые распадается исходная задача. Рекомендуется обратить особое внимание на тот логический принцип, который приводит к возникновению трех ветвей из исходного линейного уравнения.

Принцип существования трех решений обусловлен различным сочетанием k и b .

- 1) если $a = 1$, уравнение приобретает вид $0 \cdot x = 2$ и не имеет решений;
- 2) если $a = -1$, получаем $0 \cdot x = 0$ и очевидно x - **любое число**;
- 3) если $a \neq \pm 1$, имеем $x = 1/(a-1)$ - **единственное решение**.

Ответ. Если $a = 1$ - решений нет; если $a = -1$ - решений бесконечно много; если $a \neq \pm 1$ - $x = 1/(a-1)$ - единственное решение.

ВЫВОД: Аналитическое решение - это решение, полученное путём математических выкладок представленное в виде формул.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.

Аналитические методы решения задач

Большой класс задач с параметрами связан с ситуациями, когда за счет параметра на решение уравнений и неравенств накладываются какие-либо условия. Для таких задач характерна следующая формулировка: **при каких значениях параметра уравнение имеет одно решение, два, ни одного.**

Пример 3. При каких значениях параметра (a) уравнение имеет единственное решение?

Возможны два случая: если ($a=2$), то исходное уравнение превращается в линейное, решение которого находится по иным правилам, чем решение квадратного уравнения в случае ($a \neq 2$).

- 1) если ($a = 2$), то уравнение приобретает вид $3 = 0$ и **решений не имеет**;
- 2) если ($a \neq 2$), то искомые значения параметра – это корни уравнения $D(a)=0$, где $D(a)$ - дискриминант квадратного уравнения.

Эти корни имеют значения $a = 2$ и $a = 5$.

Поскольку мы установили, что при $a = 2$ решений нет, то окончательно получаем .

Ответ. $a = 5$

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.

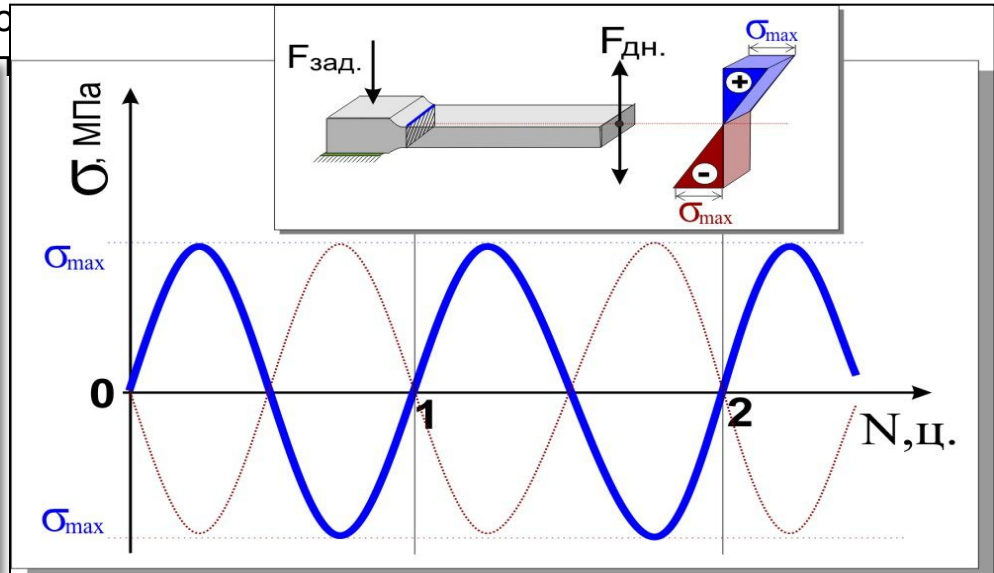
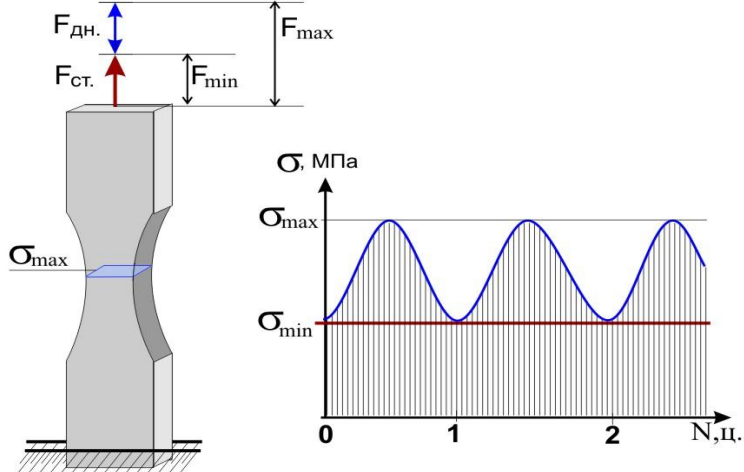
Экспериментальные методы решения.

Задачи определения предела усталостной прочности материала σ_{-1}

Усталостная прочность (усталостная долговечность) - свойство материала не разрушаться с течением времени под действием изменяющихся рабочих нагрузок.

Задача решается только экспериментальным путем.

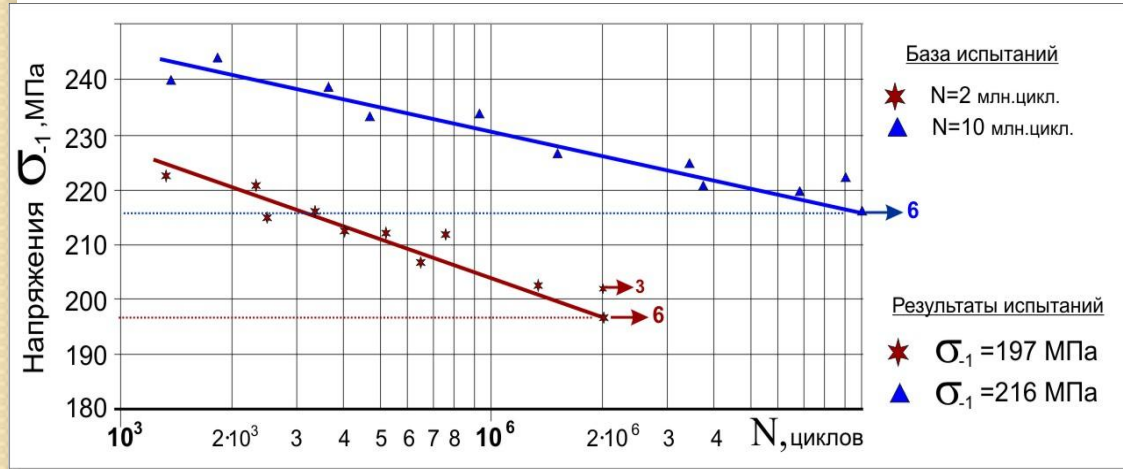
1. Изготавливается партия образцов по стандартной технологии, в зависимости от вида испытаний.
2. Проводятся испытания образцов



МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.

Экспериментальные методы решения.

3. Результаты испытаний наносятся на график.



Предел выносливости σ_{-1} определяется как максимальные напряжения, при которых не сломались «6» образцов на выбранной базе циклов нагружения N .

В дальнейшем предел усталостной выносливости деталей, изготовленных из испытанных материалов определяется расчетным путем.

Подобные испытания могут производиться и на натурных деталях с целью оценки влияния на прочность технологии изготовления или верификации математической модели расчета.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.

Численные методы решения.

Численные методы - это методы приближенного решения задач прикладной математики, основанные на реализации алгоритмов, соответствующих математическим моделям.

Наука, изучающая численные методы, называется **численным анализом**, или **вычислительной математикой**.

Численные методы, в отличие от аналитических, дают **не общие, а частные решения**. При этом требуется выполнить достаточное количество арифметических и логических действий над числовыми и логическими массивами.

В численном анализе используются два класса численных методов:

1. **Прямые методы**, позволяющие найти решение за определенное число операций.
2. **Итерационные методы**, основанные на использовании повторяющегося (циклического) процесса и позволяющие получить решение в результате конечного числа последовательных приближений. Операции, входящие в повторяющийся процесс, составляют итерацию.

Решения, получаемые численными методами, в силу их приближенности содержат некоторые погрешности. Поэтому при решении задач численными методами требуется производить оценку погрешности

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.

Численные методы решения.

Задача: Отделить (найти) один корень уравнения $e^x + x + 2 = 0$ и вычислить его на полученном отрезке $[a; b]$ с точностью $\varepsilon < 0,0001$ методом простой итерации.

Решение:

Преобразуем уравнение к виду: $e^x = -x - 2$ и построим графики функций $y_1 = e^x$, $y_2 = -x - 2$

Графики пересекаются на интервале $[-3; -2]$, т.е. корень будем искать именно на этом промежутке.

Выберем первое приближение $x_0 = -2$ имея в виду



Ответ: с требуемой точностью $x = -2,12003$

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.

ВЫВОДЫ:

- 1. Аналитические методы исследования развиваются давно, но несмотря на это существует ограниченное число задач, которые могут быть решены аналитически. Круг решаемых задач значительно расширился в связи с применением электронных вычислительных машин (ЭВМ) и развитием численных методов исследования, которые позволяют получить решение с заданной степенью точности и обладают большей универсальностью, чем аналитические методы.*
- 2. Аналитические решения, получаемые обычно для упрощенного варианта задачи, позволяют понять физическую сущность явления и его зависимость от характерных параметров, а кроме того, выполняют роль тестов при отработке численного алгоритма на ЭВМ.*
- 3. Точность аналитических и численных методов проверяется путем сопоставления решений с результатами экспериментов. Таким образом, численные, аналитические и экспериментальные методы должны разумным образом сочетаться и дополнять друг друга.*

