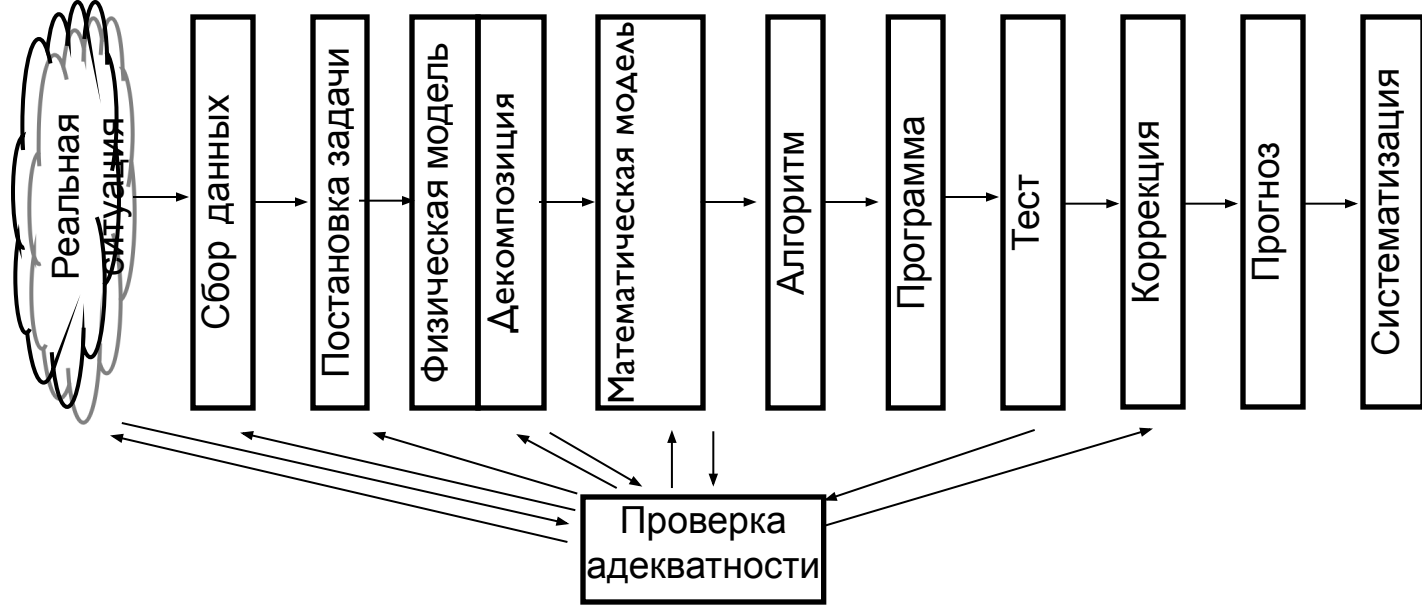


Математическое моделирование.  
Численные методы и  
использование ЭВМ в решении  
прикладных задач

# Процесс мат. моделирования



# Формулировка математической модели

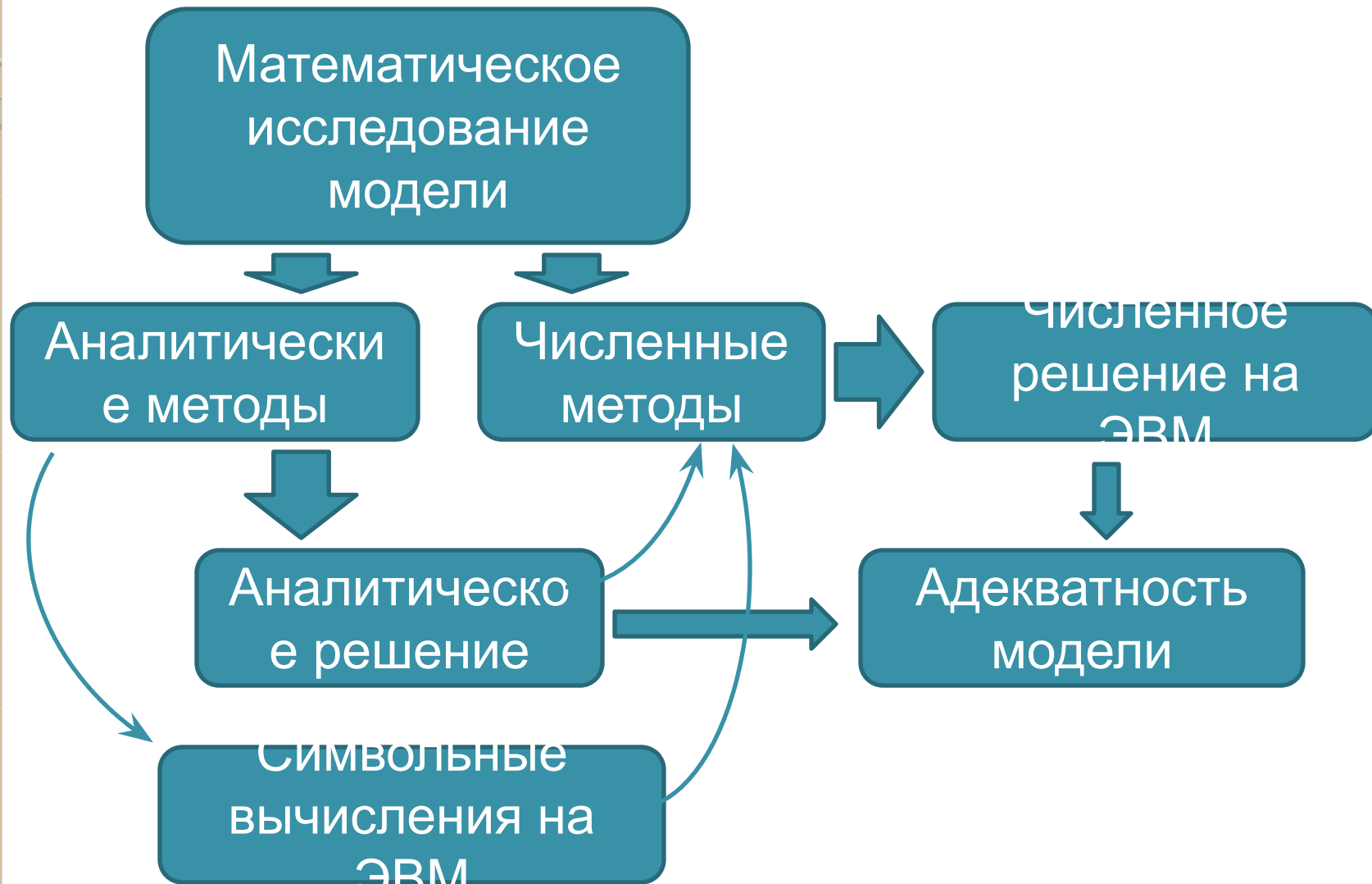
## явления

- Математическая модель любого изучаемого явления, по причине его чрезвычайной сложности, должна охватывать важнейшие для рассматриваемой задачи стороны процесса, его существенные характеристики и формализованные связи, подлежащие учёту.
- Как правило, *математическая модель* изучаемого физического явления формулируется в виде *уравнений математической физики*. Чаще всего это нелинейные, многомерные системы уравнений, содержащие большое число неизвестных и параметров.
- Если математическая модель выбрана недостаточно тщательно, то какие бы мы не применяли методы для дальнейших расчётов, полученные результаты будут ненадежны, а в отдельных случаях и совершенно неверны.

# Проведение математического исследования

- На этом этапе моделирования, в зависимости от сложности рассматриваемой модели, применяют различные подходы к её исследованию и различный смысл вкладывается в понятие решения задачи.
- Для наиболее грубых и несложных (относительно) моделей удаётся получить их аналитическое – общее – решение.
- Для более точных и сложных моделей основными методами решения являются численные методы решения с необходимостью требующие проведения большого объёма вычислений на ЭВМ. Эти методы позволяют добиться хорошего количественного и даже качественного результата в описании модели. Но, правда, у них есть и принципиальные недостатки – как правило, речь идёт о рассмотрении некоторого частного решения.

# Математическое исследование модели



- Использование ЭВМ в процессе математического исследования модели требует специфических, численных методов, т.е. такой "интерпретации" математической модели, которая может быть реализована на ЭВМ - назовём её *дискретной* (или *вычислительной*) моделью. Поскольку ЭВМ выполняет только арифметические и логические операции, то для реализации вычислительной модели требуется разработка соответствующего *вычислительного алгоритма*, собственно *программирование*, *расчет* на ЭВМ, *обработка* результатов расчета.

# Источники погрешности решения

1. Математическая модель
2. Исходные данные
3. Приближенный метод
4. Погрешности вычислений

# I. Погрешность мат. модели

- Математические формулировки редко точно отражают реальные явления, обычно они дают лишь более или менее идеализированные модели. Как правило, при изучении тех или иных явлений мы вынуждены допустить некоторые упрощения, что и вызывает появление погрешностей решения



## 2. Погрешности исходных данных

- Вызваны наличием в математических формулах числовых параметров, значения которых могут быть определены лишь приближенно. Это, например, все физические константы или экспериментальные результаты, используемые в модели

### 3. Погрешности метода

- Поскольку аналитически решить задачу невозможно, ее приходится заменять некоторой приближенной задачей, дающей близкие результаты. Например, интеграл заменяют суммой, производную – разностью, функцию – многочленом и т.д. Еще один источник – применение бесконечных итерационных процессов, принудительно прерываемых (например,  $\sin x = x - x^3/3! + x^5/5! - \dots$ )

## 4. Погрешности вычислений

- При вычислениях на ЭВМ неизбежны погрешности, связанные с ограниченностью разрядной сетки машины – погрешности округлений ( $\delta_{\max} = 0.5\alpha^{1-k}$ ,  $\alpha$  – основание системы счисления) и с переводом чисел из одной системы счисления в другую

# Числа с плавающей точкой

- Современные компьютеры позволяют обрабатывать целые числа и числа с плавающей точкой.
- Множество целых чисел бесконечно, но из-за ограниченной разрядной сетки мы можем оперировать только с конечным подмножеством. При 4-х байтах на число диапазон доступных чисел составляет ~ от  $-2 \cdot 10^9$  до  $2 \cdot 10^9$

# Числа с плавающей точкой

- При решении научно-технических задач в основном используются вещественные числа. Пример: 273.9

$$2739 \cdot 10^{-1}$$

$$2.739 \cdot 10^2$$

$$0.2739 \cdot 10^3$$

- Последняя запись – *нормализованная форма* числа с плавающей точкой.

Общий вид:

$$D = \pm m \cdot 10^n, m = 0.d_1d_2 \dots d_k, d_1 \neq 0$$

- $m$  – мантисса,  $n$  – порядок числа

# Понятие погрешности

- *Абсолютная погрешность* – разность между истинным значением числа и приближенным. Если  $a$  – приближенное значение  $x$ :  
$$\Delta x = |a - x|$$
- *Относительная погрешность* – отношение абсолютной погрешности к приближенному значению  
$$\delta x = \Delta x / a$$

# Предельная погрешность

- Очень часто истинное значение  $x$  неизвестно и приведенные выражения невозможно использовать. В этом случае используют верхнюю оценку модуля абсолютной погрешности, называемую *предельной погрешностью*  $\Delta a$ :  
$$\Delta x \leq \Delta a$$
- В дальнейшем  $\Delta a$  принимается в качестве абсолютной погрешности

# Правила округления

Округление до  $n$  значащих цифр – отбрасывание всех цифр справа от  $n$ -й

1. Если первая из отброшенных цифр меньше 5, то оставшиеся цифры остаются без изменения ( $8,3 \approx 8$ )
2. Если первая из отброшенных цифр больше 5, то к последней оставшейся цифре добавляется 1 ( $8,6 \approx 9$ )



# Правила округления

3. Если первая из отброшенных цифр равна 5 и среди остальных отброшенных имеются ненулевые, то к последней оставшейся цифре добавляется 1 ( $8,501 \approx 9$ )
4. Если первая из отброшенных цифр равна 5 и все остальные – нули, то последняя оставшаяся остается неизменной, если она четная, и увеличивается, если нечетная ( $6,5 \approx 6$ , но  $7,5 \approx 8$ )

# Правила округления

- При применении правил округления погрешность не превосходит половины десятичного разряда последней оставленной цифры

# Действия над приближенными числами

1. При сложении и вычитании чисел их абсолютные погрешности складываются:  
$$\Delta(a \pm b) = \Delta a + \Delta b$$
2. При умножении и делении чисел их относительные погрешности складываются:  
$$\delta(a \cdot b) = \delta a + \delta b$$
$$\delta(a / b) = \delta a + \delta b$$
3. При возведении числа в степень его относительная погрешность умножается на показатель степени  
$$\delta(a^k) = k\delta a$$

# Пример

$$a = 2520, b = 2518, a - b = 2$$

$$\Delta a = \Delta b = 0.5$$

$$\delta a = 0.5/2520 \approx 0.0002 \text{ (0.02\%)}$$

$$\delta b = 0.5/2518 \approx 0.0002 \text{ (0.02\%)}$$

Относительная погрешность  
разности

$$\delta(a - b) = (0.5 + 0.5)/2 = 0.5 \text{ (50\%)}$$

# Уменьшение погрешностей

- Избегать вычитания близких по значению чисел
- Применять правильный порядок вычислений
- Правильно использовать ряды для вычисления функций

# Порядок вычислений

$$S = 0.2764 + 0.3944 + 1.475 + 26.46 + 1364 = 1393$$

Компьютер округляет после каждого сложения, поэтому законы коммутативности выполняются не всегда. При обратном порядке сложения получим

$$S = 1364 + 26.46 + 1.475 + 0.3944 + 0.2764 = 1391$$

# Использование рядов

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots$$

$$\sin \pi/6 (30^\circ) = 0.5236 - 0.2392 \cdot 10^{-1} + 0.3279 \cdot 10^{-3} = 0.5$$

$$\sin 13\pi/6 (360^\circ + 30^\circ) = \sin 6.807 \approx 0.5167$$

$$\sin 49\pi/6 (4 \times 360^\circ + 30^\circ) = \sin 25.6563 \approx 0.5167$$