



**Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения**

Моделирования систем и процессов

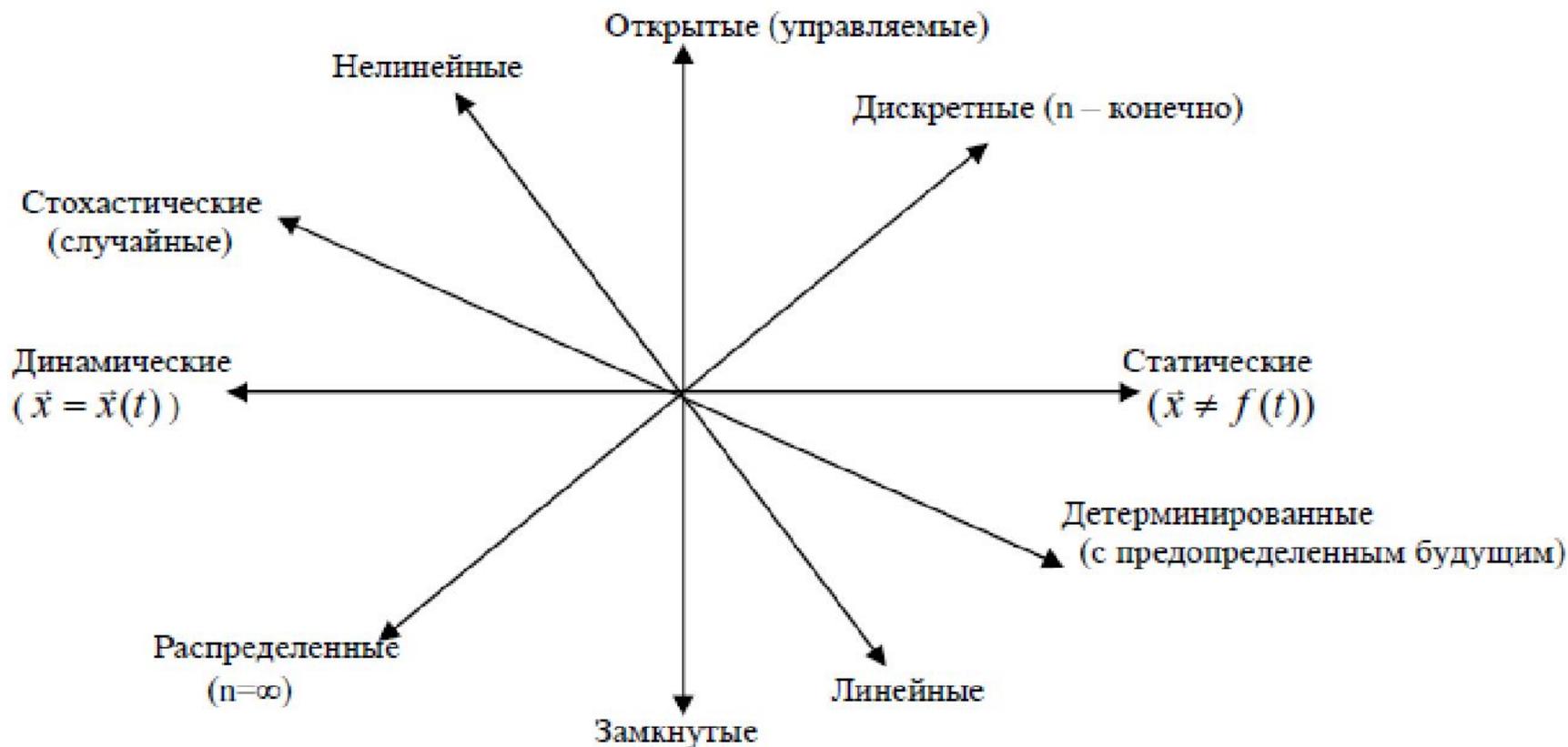
КЛЮЧЕВЫЕ ПОНЯТИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ»

Система - объект, состоящий из некоторого множества частей, взаимодействующих друг с другом так, что знание поведения каждой из частей ещё не позволяет сделать очевидный вывод о поведении всей системы в целом.

Вектор состояния - упорядоченный набор переменных, однозначно и без избытка описывающих состояние системы в любой момент её наблюдения

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}, \quad \bar{x} \in R^n.$$

$$\bar{x}(t) \Rightarrow \bar{x}_0 \in R^n$$



Моделирование систем

Детерминированно

Стохастическое

Статическое

Динамическое

Дискретное

Дискретно-
непрерывное

Непрерывное

Мысленное

Реальное

Наглядное

Символическое

Математическое

Натурное

Физическое

Гипотетическое

Аналоговое

Макетирование

Языковое

Знаковое

Аналитическое

Комбинированное

Имитационное

Научный
эксперимент

Комплексные испытания

Производительный
эксперимент

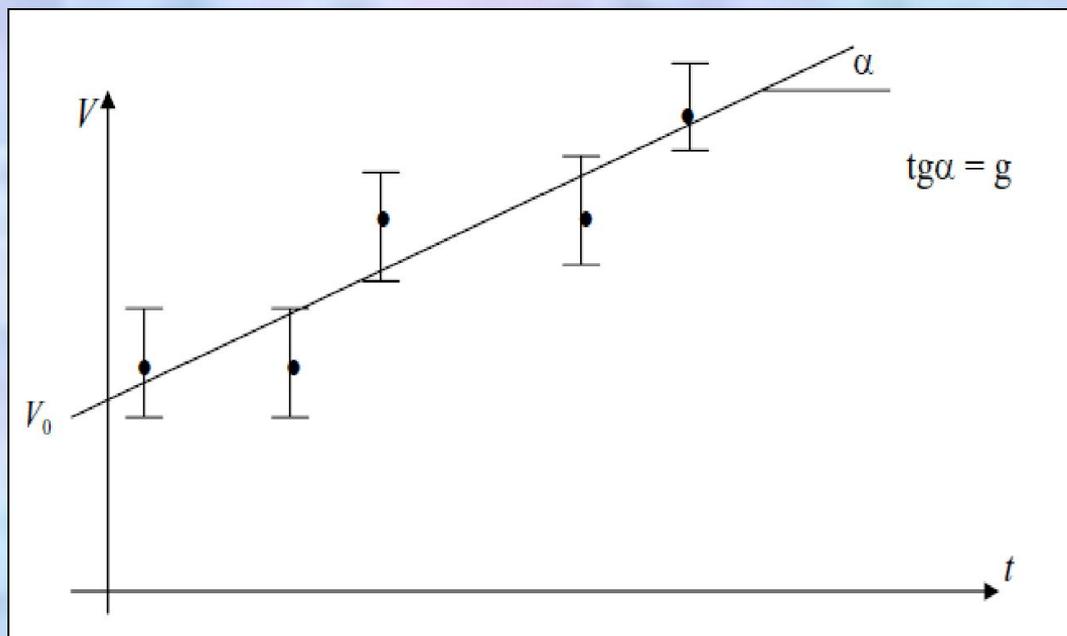
В реальном масштабе
времени

В нереальном масштабе
времени

РАЗНОВИДНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

- **Моделирование на стадии эксперимента**
- **Физическое моделирование**
- **Аналитическое моделирование**
- **Вычислительное моделирование**

Моделирование на стадии эксперимента

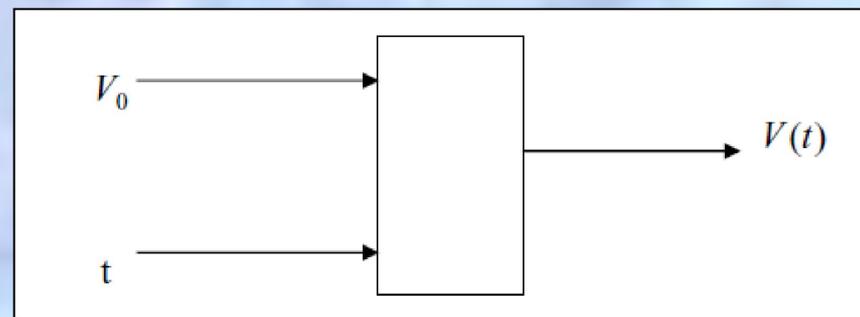


$$V(t) = V_0 + g \cdot t$$

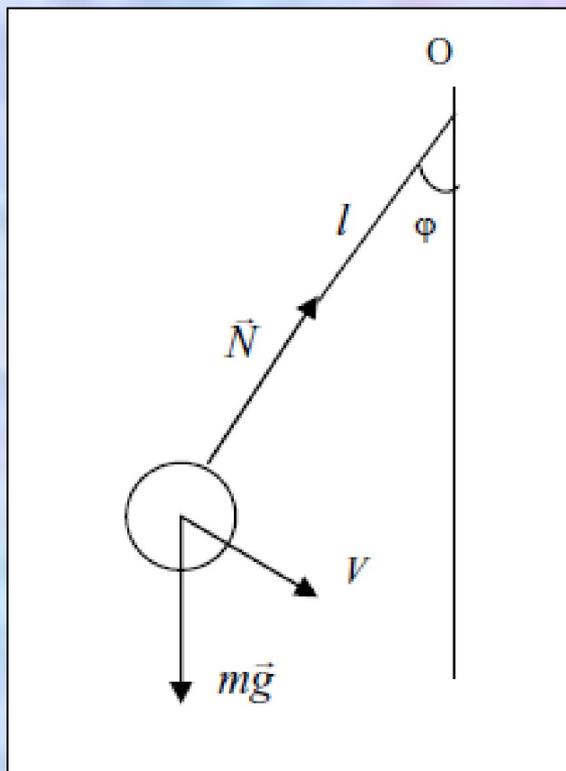
Закон Кулона:

$$F(r) = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$$\ln F(r) = \ln\left(k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}\right) = \underbrace{\ln(k \cdot q_1 \cdot q_2)}_{\text{константа}} - 2 \cdot \underbrace{\ln(r)}_{\text{переменная}}.$$



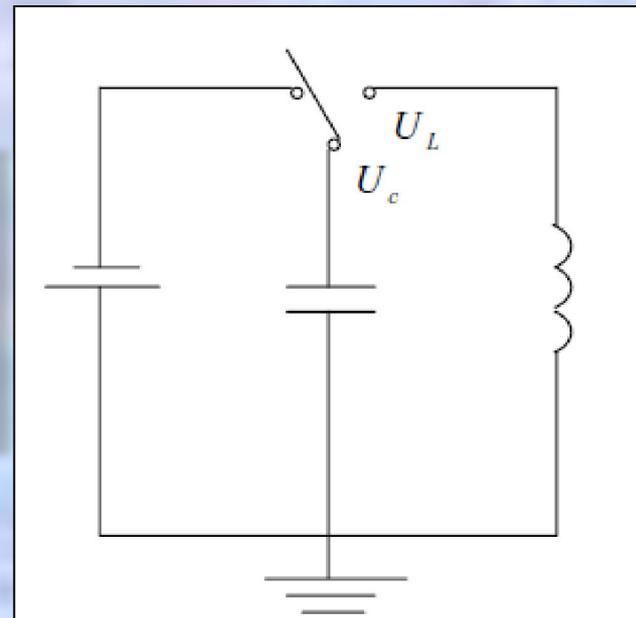
Физическое моделирование



$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot x = 0$$

$x \Leftrightarrow \varphi$
 \Downarrow
 U_C

и $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$



$$m \cdot \frac{dV}{dt} = m \cdot g \cdot \sin \varphi$$

$$V = -l \cdot \omega = -l \cdot \frac{d\varphi}{dt}$$

$$-l \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = g \cdot \sin \varphi$$

$$\sin(\varphi) \approx \varphi$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{g}{l} \cdot \varphi = 0$$

$$U_C = U_L$$

$$\frac{d^2 U_C}{dt^2} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot U_C = 0$$

$$\frac{d}{dt} I_C + \frac{d}{dt} I_L = 0$$

$$C \cdot \frac{d^2 U_C}{dt^2} + \frac{U_L}{L} = 0$$