

# **Основы системного анализа и математическое моделирование сложных систем**



# Основные вопросы лекции:

1. Понятие системы. Состав и структура системы.
2. Классификация систем. Свойства сложных систем.
3. Системный подход и системный анализ.
4. Моделирование как метод исследования сложных систем. Понятие модели.
5. Классификация моделей.
6. Математические модели и их виды.
7. Основные этапы моделирования.
8. Принятие организационно-управленческих решений с использованием математической модели системы.



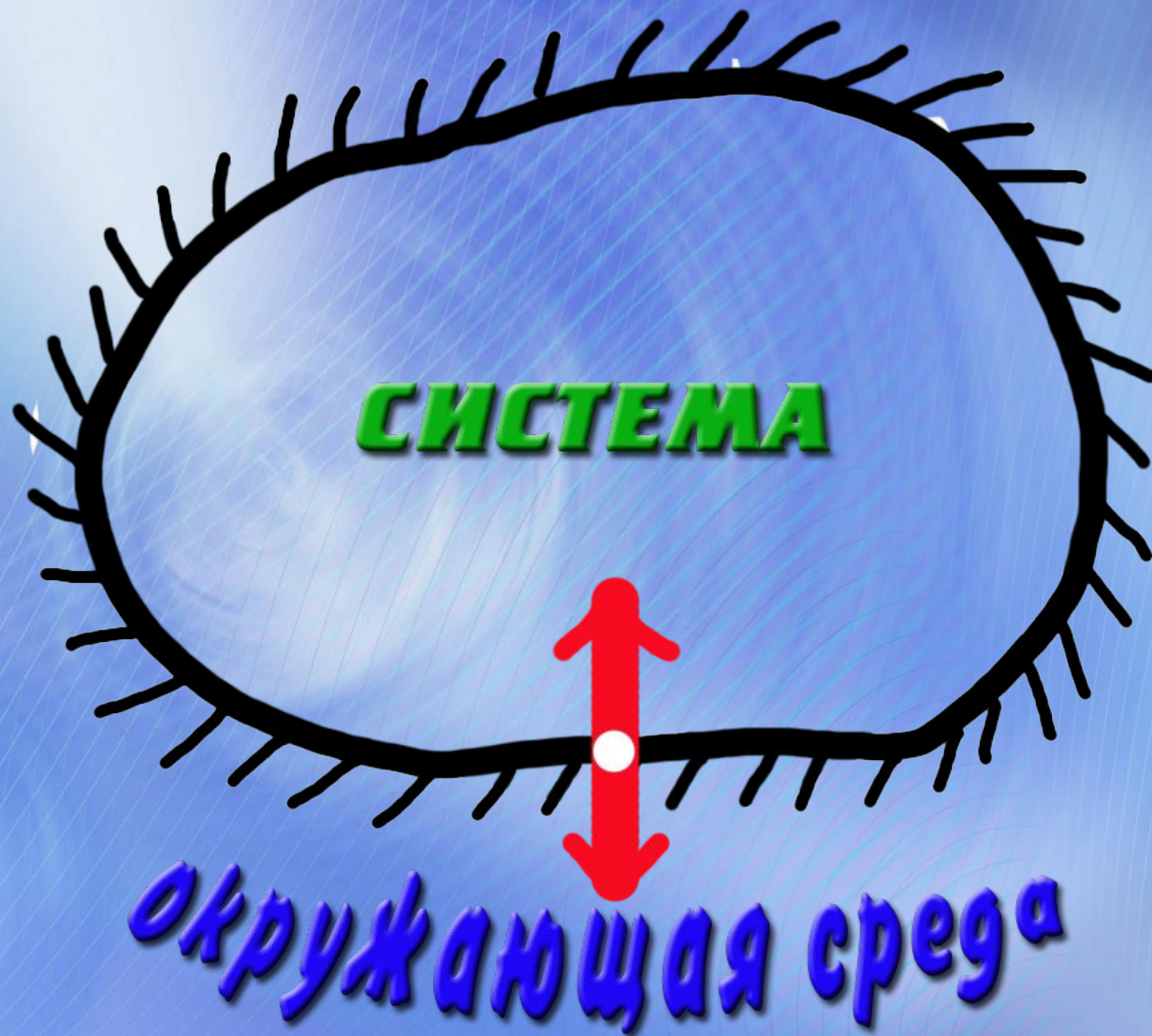
## Вопрос 1. Понятие системы. Состав и структура системы.

**Система** - целостное множество (совокупность) объектов (элементов), связанных между собой определенными отношениями и взаимодействующих таким образом, чтобы обеспечить выполнение системой некоторой достаточно сложной функции (достижение определенной цели).

**Элемент системы** объект системы, не подлежащий расчленению на части.

**Целостность означает**, что относительно окружающей среды система выступает и соответственно воспринимается как нечто единое.

Система функционирует во **внешней (окружающей) среде**, вступая во **взаимодействие** с ней, изменяя ее и изменяясь при этом сама.





**Внешняя (окружающая) среда** – это множество не входящих в систему объектов, изменение свойств которых может менять состояние системы.

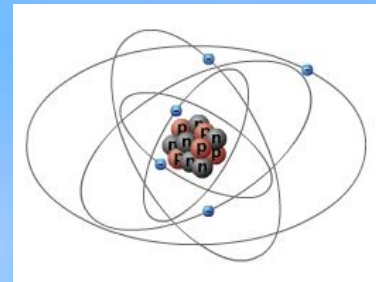
**Объектами среды** могут быть такие, которые влияют на поведение системы и на которые влияет сама система. Иными словами, с частью среды система в том или ином смысле может взаимодействовать.

Внешние объекты, не влияющие на существенные свойства системы, на которые система также не влияет, не относятся к среде. Что из объектов отнести к системе, а что к окружающей среде, целиком **зависит от цели исследования.**

Обязательными компонентами любой системы являются составляющие ее **элементы и связи между ними.**

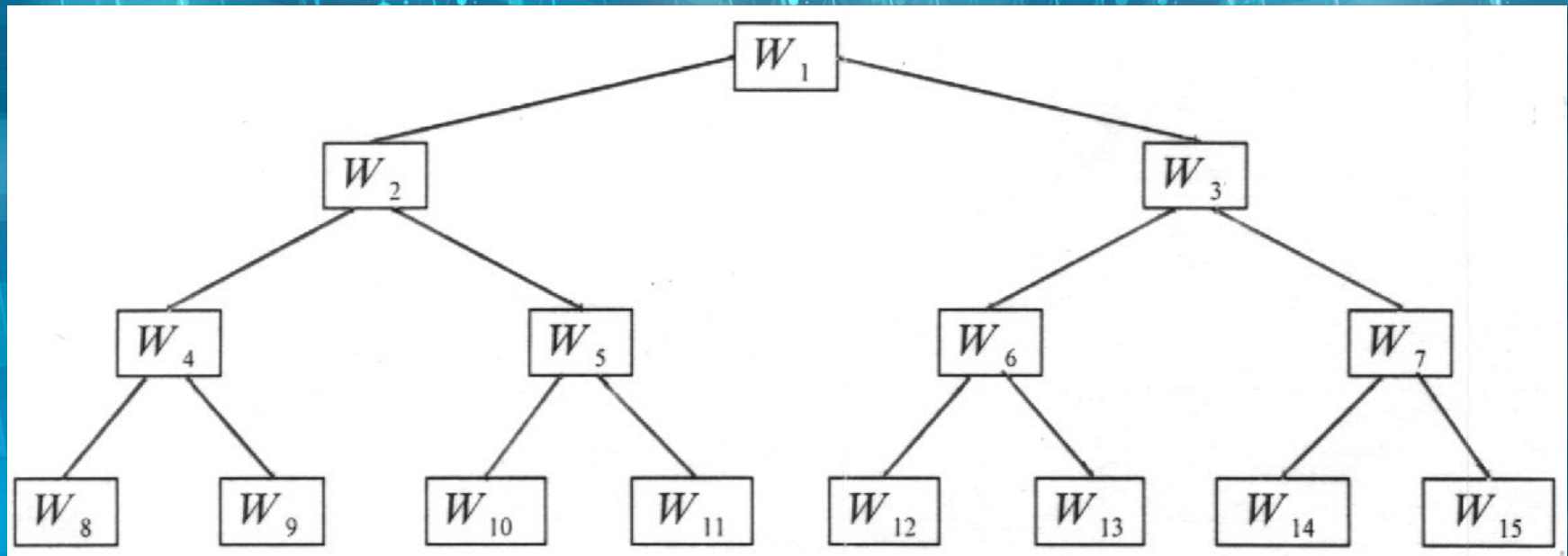
**Процесс расчленения системы на элементы (подсистемы) и само понятие элемента условны и относительны, так как любой элемент, в свою очередь, всегда можно рассматривать как совокупность других элементов.**

Электрон так же неисчерпаем,  
как и атом.



В результате первого акта разбиения (декомпозиции) системы образуются подсистемы (блоки) первого уровня, в процессе второго акта подсистемы первого уровня разбиваются на подсистемы второго уровня и т. д.

В итоге исследуемую систему можно представить в виде дерева подсистем различных уровней.





Поскольку все подсистемы и элементы, из которых состоит система, определенным образом размещены и взаимосвязаны, можно говорить не только о **составе** системы, но и о ее **структуре**.

**Состав** — это перечень элементов системы.

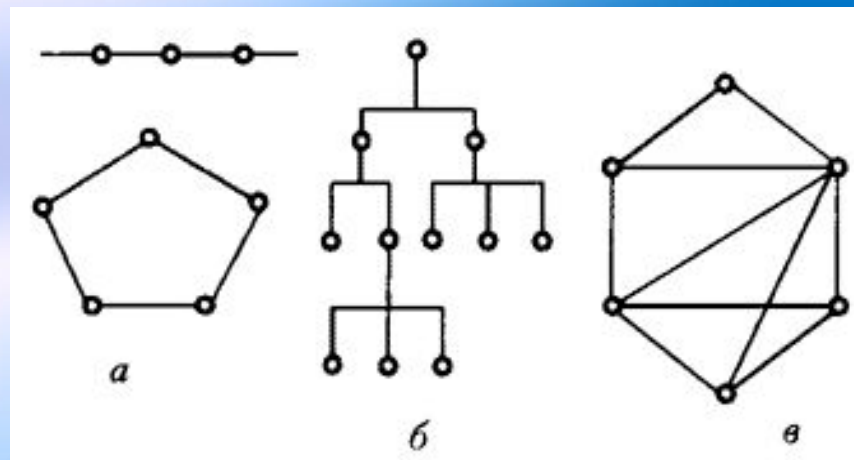
**Структура** — это совокупность связей между элементами системы; то, что остается неизменным в системе при изменении ее состояния, реализации различных форм поведения, совершении операций и т. п.



Как правило, структуру любой системы можно отобразить с помощью **графа**.

**Граф** – это совокупность объектов (вершин) и связей между ними (дуг или ребер).

Вершины изображаются в виде **кружочков** или **квадратиков**, а дуги – в виде **линий** (иногда со стрелками), указывающими направление связей.



## Вопрос 2. Классификация систем. Свойства сложных систем.

В зависимости от степени и практической значимости влияния окружающей среды на систему, т. е. на ее поведение, процесс функционирования, системы подразделяются на:

**открытые** — системы, в которых внутренние процессы в значительной степени определяются влиянием внешней среды и сами оказывают на нее существенное воздействие.

**закрытые** — системы, которые в процессе функционирования используют только ту информацию, которая вырабатывается внутри самой системы.



Системы функционируют в пространстве и во времени. Процесс функционирования системы представляет собой **изменение состояния системы**, переход ее из одного состояния в другое.

**статические** – системы с одним возможным состоянием.

**динамические** – системы со множеством состояний, в которых с течением времени происходит переход из одного состояния в другое.

## Различают системы:

**простые** – системы, функционирование которых (в рамках конкретной задачи) можно исследовать как нечто целое, без разбиения их на более мелкие подсистемы.

**большие** – системы, которые трудно исследовать без расчленения их на более простые подсистемы.

**сложные** – системы, функционирование компонентов которых настолько взаимообусловлено и взаимосвязано, что изолированное рассмотрение процессов их функционирования либо просто невозможно, либо приводит к ошибочным выводам.

Большие и сложные системы отличаются разветвленной структурой и значительным количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов. Большие системы переходят в сложные по мере усиления взаимовлияния составляющих их компонентов.



# Различия между понятиями «большая» и «сложная» система

Термин **большая система** отражает лишь факт большого количества ее элементов и связей между ними.

Термин **сложная система** характеризует неоднородность элементов системы и связей между ними.

Сложную систему невозможно исследовать иначе чем по подсистемам, не только потому, что ее "не охватишь взглядом", но и потому, что неоднородность каждой из них требует для своего описания иного языка.


# Важнейшие свойства сложных

## систем:

- иерархичность организации;
- целенаправленность функционирования;
- большое число элементов;
- наличие информационной связи между элементами;
- способность к самоорганизации - способность системы на основе информации о внешней среде последовательно изменять структуру или значения своих параметров таким образом, чтобы в большей степени соответствовать своему целевому назначению (кибернетические системы);
- целостность - изменения, возникающие в каком-либо элементе системы, сказываются и на других ее элементах, на функционировании всей системы.



**Самодействующие системы** – это системы, которые способны совершать операции, работы, процедуры, обеспечивать заданное течение технологических и других процессов, а следовательно, решать задачи и достигать поставленных целей



**Технические системы** - способны решать поставленные перед ними человеком задачи без его участия (например, автоматическая установка пожаротушения).

**Организационные системы** (системы организационного управления) – это такие системы, в состав которых входят люди (чаще всего это человеко-машинные системы).

### Вопрос 3. Системный подход и системный анализ

Из свойства целостности сложных систем вытекает необходимость **системного подхода** к изучению сложных систем, что в данном случае означает **исследование каждой части системы с учетом целей и функционирования системы в целом.**

**Системный подход** представляет собой современную общенаучную методологию исследования сложных объектов (систем); он ориентирован на **исследование какой-либо системы как единого целого**, когда изучаются принципы организации элементов в целостную систему, а функционирование каждой подсистемы и отдельных элементов рассматривается с точки зрения главной цели, стоящей перед системой.



**Системный анализ** – это методология решения сложных проблем большого масштаба; конкретная реализация системного подхода на основе идей и методов **теории систем**, совокупность определенных методов и приемов, используемых для исследования процесса функционирования различных сложных систем с целью его совершенствования.



"...системный анализ - это дисциплина не математическая. Он адаптирует, впитывает методы, основанные на анализе формализованных моделей. Но этим далеко не исчерпывается. Как всякая синтетическая дисциплина он широко опирается на неформальные процедуры и использует вербальное, качественное описание».

Академик Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. - М.: Наука, 1979. – С.

**Общая теория систем** - это междисциплинарная теория, обобщенно описывающая системы различных типов и классов и разрабатывающая специфические методы их анализа.



**Карл Людвиг фон Берталанфи – основоположник теории систем**

(англ. Ludwig von Bertalanffy; 19.09.1901, Вена — 12.06.1972, Нью-Йорк) — австрийский биолог, постоянно проживавший в Канаде и США с 1949 года. Первооснователь обобщённой системной концепции под названием «Общая теория систем». Постановщик системных задач, прежде всего, в сфере разработки математического аппарата описаний типологически несходных систем.



**А. А. Богданов** (10.08.1873-07.04.1928) В начале XX века начал развивать системное направление в управлении. Выдвинул идею создания науки об общих принципах организации — **тектологии**, предвосхитил некоторые положения **кибернетики**. С 1926 — организатор и директор первого в мире Института переливания крови; погиб, производя на себе опыт. Однако в силу исторических причин предложенная им всеобщая организационная наука тектология не нашла распространения и практического применения.

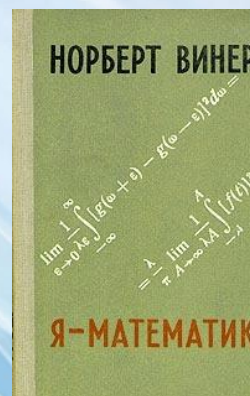
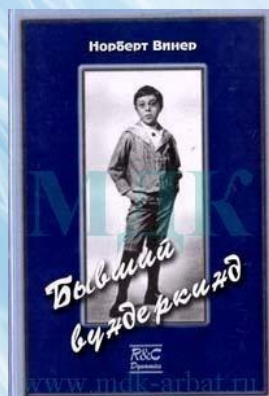
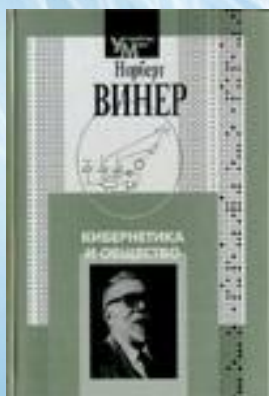
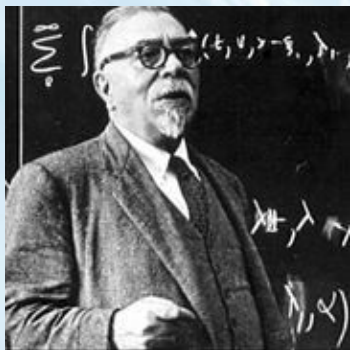




Потребности практики почти одновременно со становлением теории систем привели к возникновению направления, названного **исследованием операций**.

Применительно к задачам управления более широкое распространение получил термин **кибернетика**, введенный **М. А. Ампером** и принятый для названия новой **науки об управлении в живых организмах и машинах** Н. Винером.

**Норберт Винер** (Norbert Wiener; 26.11.1894, Колумбия, Миссури — 18.03.1964, Стокгольм) — американский учёный, выдающийся математик и философ, основоположник кибернетики и теории искусственного интеллекта.

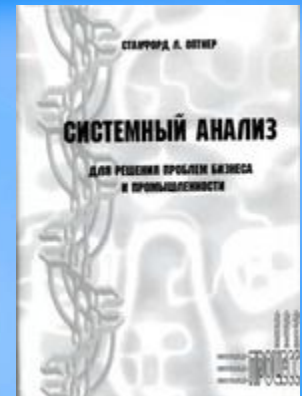
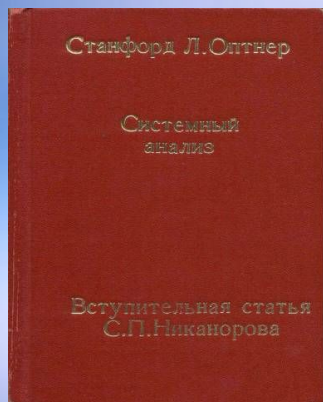


Наиболее конструктивным из направлений системных исследований считается **системный анализ**, который впервые появился в работах корпорации **RAND** в связи с задачами военного управления в 1948 г.



**Корпорация RAND** (сокращение от Research and Development — научно-исследовательские разработки). Этот центр был основан в калифорнийском городке Санта-Моника в 1948 году под эгидой военно-воздушных сил США. В течение первых десятилетий RAND занимался в основном решением технических задач — конструированием самолетов, ракетной техники и спутников. В начале 60-х специалисты RAND активно занимались вычислительной техникой и программированием. Но уже с начала 50-х RAND начал работать по заказам других американских правительственных организаций, проводя исследования по проблемам национальной безопасности. Сначала исключительно по военно-техническим, а затем и по стратегическим аспектам.

В 60-70х годах XX века корпорация RAND провела серию исследований в сфере оптимизации деятельности противопожарной службы городов. В отечественной литературе термин **системный анализ** получил широкое распространение в 1969 г. после перевода книги руководителя крупной исследовательской лаборатории в США **Станфорда Л. Оптнера «Системный анализ деловых и промышленных проблем»**.

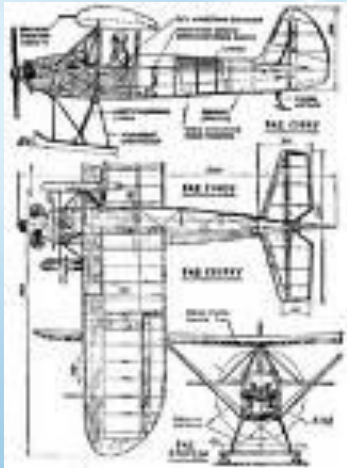




## Вопрос 4. Моделирование как метод исследования сложных систем. Понятие модели

Основным методом изучения сложных систем, лежащим в основе системного анализа, является **метод моделирования**.

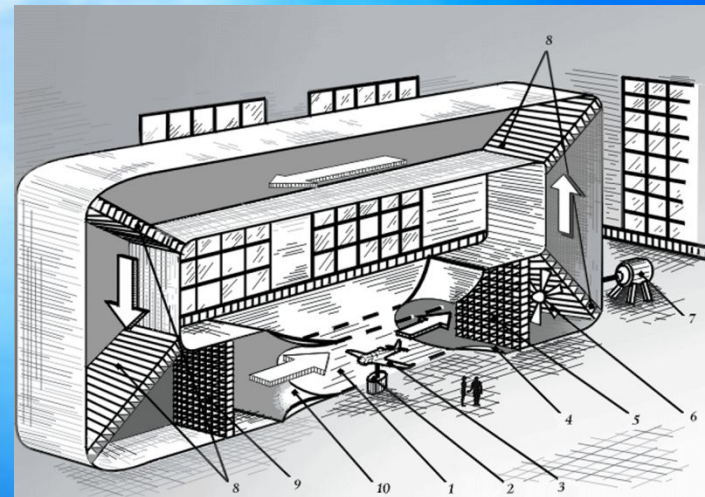
Сущность метода заключается в том, что создается **модель** исследуемой системы, с помощью которой и изучается процесс функционирования реальной системы.



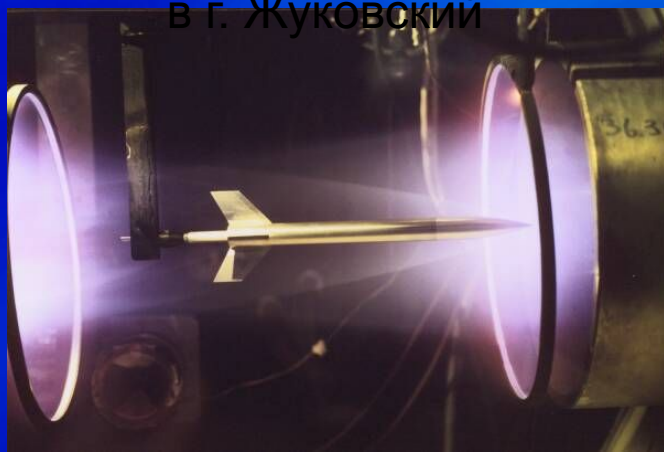
# Моделирование движения объектов в аэродинамической трубе



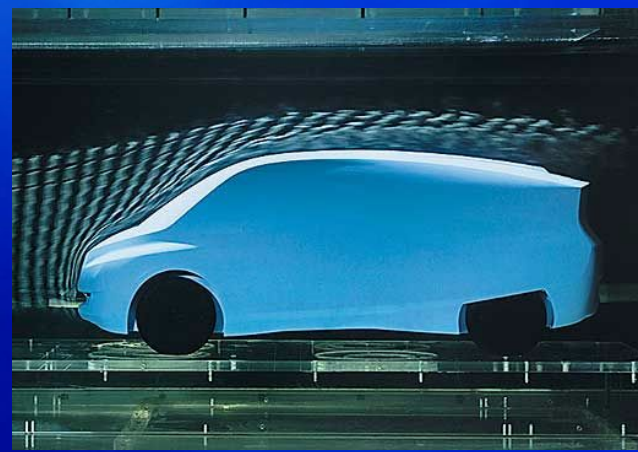
Вертикальная аэродинамическая труба в г. Жуковский



Устройство аэродинамической трубы



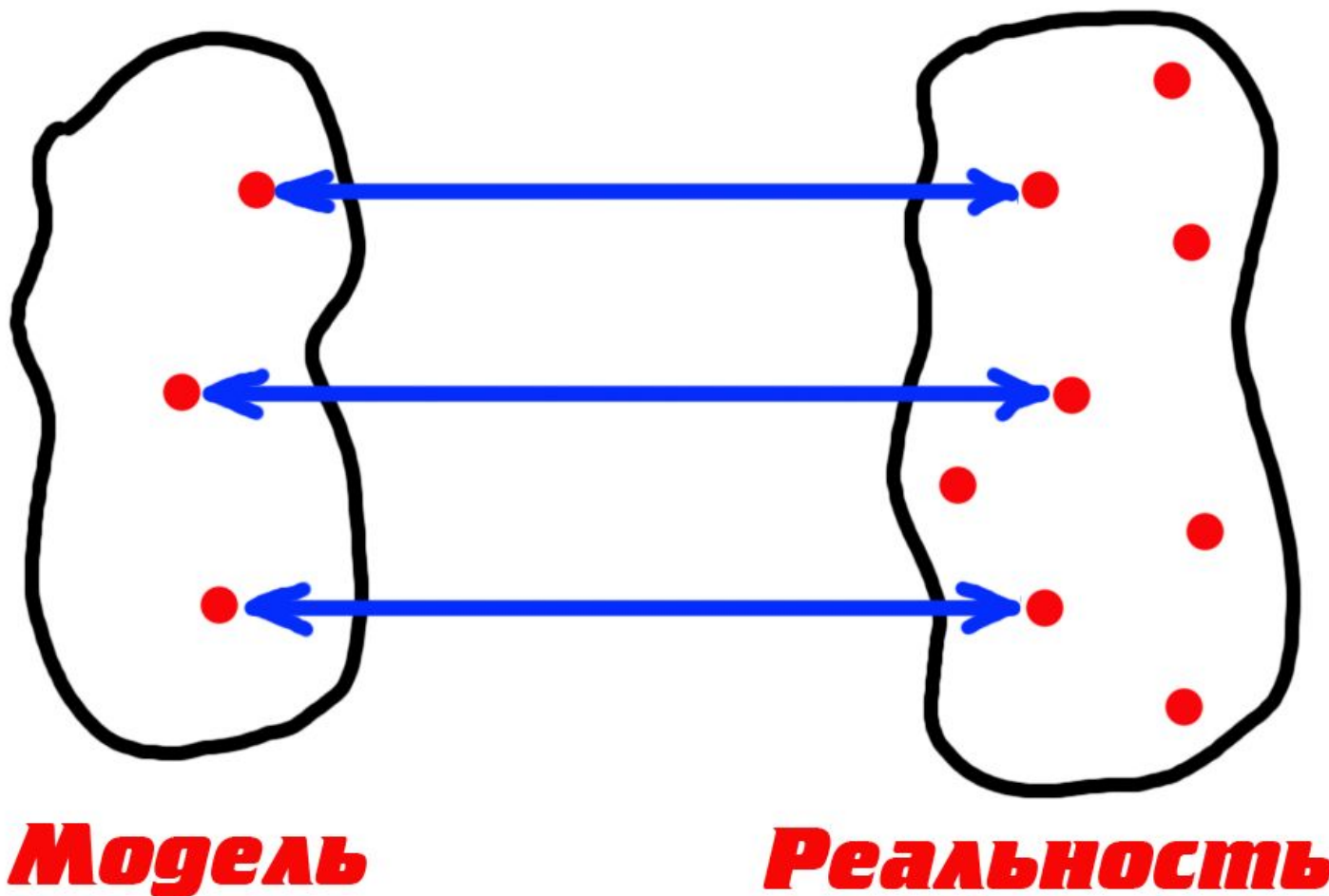
Моделирование полета ракеты



Моделирование движения автомобиля



**Модель** - это специально создаваемый образец или условный образ объекта исследования, отображающий характеристики реального объекта, существенные для цели исследования.





«Наши знания всегда относительно, всегда являются отражением тех или иных черт реальной действительности, всегда являются ее **моделью**».

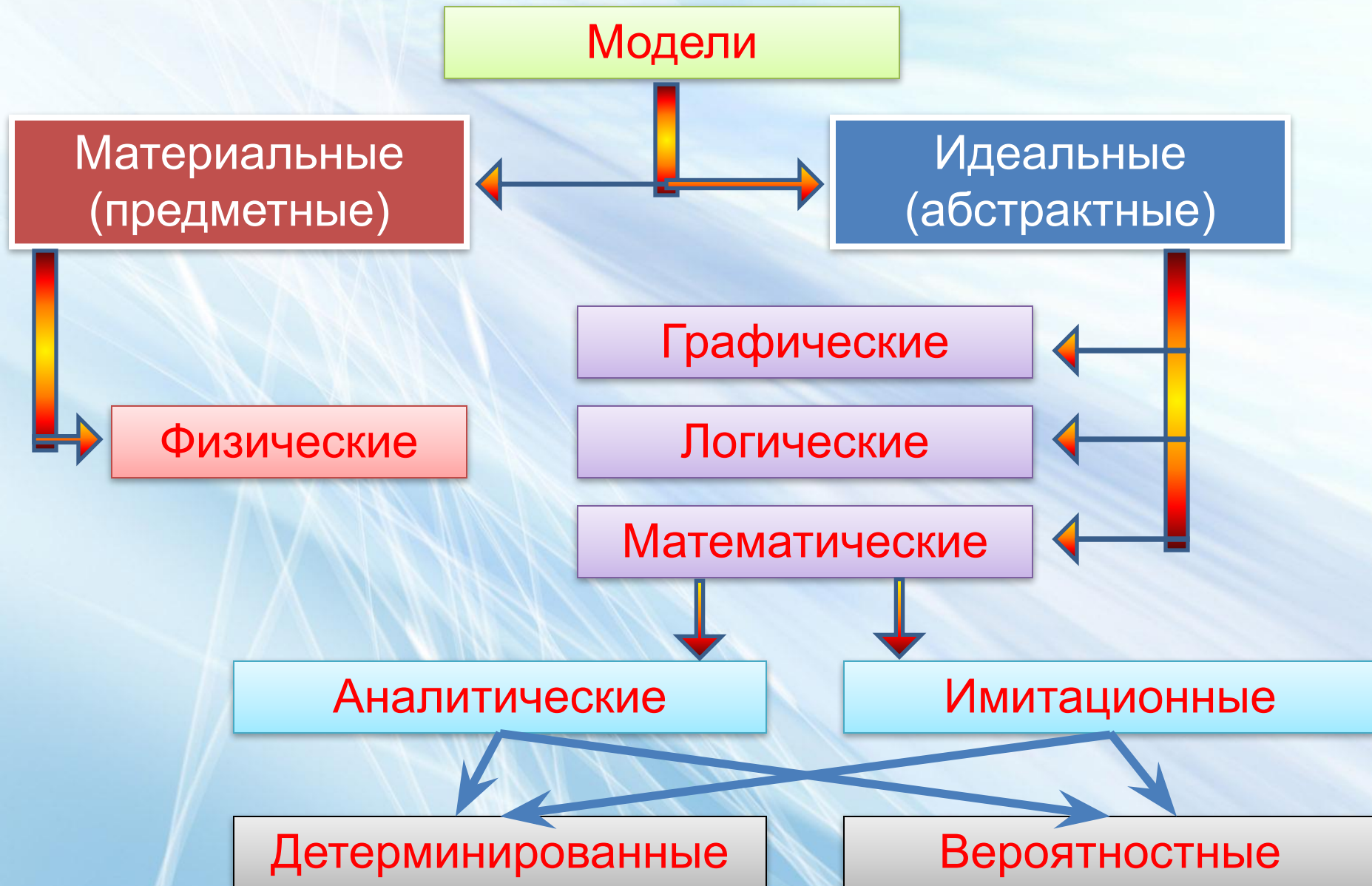
Академик Н. Н.  
Моисеев

«Есть одно обстоятельство, которое лежит в основе любого процесса познания: **мы можем оперировать только с моделями**, изучать только модели, независимо от того, какой язык мы используем - русский, французский или язык математики».





## Вопрос 5. Классификация моделей

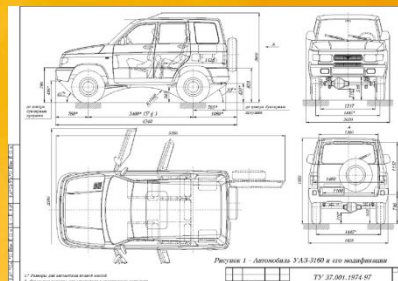
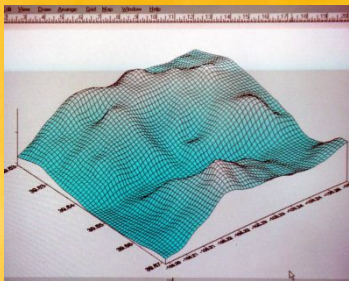


**Материальное моделирование** характерно тем, что исследование ведется на основе модели, воспроизводящей основные геометрические, физические, динамические и функциональные характеристики изучаемого объекта.

Частным случаем материального моделирования является **физическое моделирование**, при котором моделируемый объект и модель имеют одну и ту же физическую природу.



**Идеальные модели** связаны с использованием каких-либо символических схем (графических, логических, математических и др.).



$$\begin{aligned}
 C_1 \frac{d\Theta_1}{dt} + \Theta_1(\lambda_{12} + \lambda_{14}) - \Theta_2\lambda_{12} - \Theta_4\lambda_{14} &= P_1(t) \\
 C_2 \frac{d\Theta_2}{dt} + \Theta_2(\lambda_{20} + \lambda_{23} + \lambda_{12}) - \Theta_1\lambda_{12} - \Theta_3\lambda_{23} &= P_2(t) \\
 C_3 \frac{d\Theta_3}{dt} + \Theta_3(\lambda_{30} + \lambda_{23} + \lambda_{34}) - \Theta_2\lambda_{23} - \Theta_4\lambda_{34} &= P_3(t) \\
 C_4 \frac{d\Theta_4}{dt} + \Theta_4(\lambda_{14} + \lambda_{40} + \lambda_{34}) - \Theta_1\lambda_{14} - \Theta_3\lambda_{34} &= P_4(t)
 \end{aligned}$$

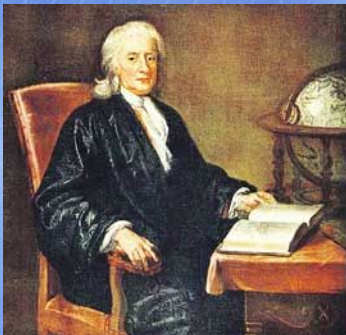




## Вопрос 6. Математические модели и их виды

**Математическая модель** представляет собой специально создаваемое исследователем абстрактное отображение интересующих его свойств реального объекта с помощью логико-математических символов и отношений.

**Аналитические модели** применяются, когда изучаемую систему (объект) удастся описать отношениями-функциями в явной или неявной форме (дифференциальными или интегральными уравнениями, операторами) таким образом, что становится возможным непосредственно с помощью соответствующего математического аппарата сделать необходимые выводы о самой системе и ее свойствах (а при синтезе эти свойства в каком-либо смысле оптимизировать).



$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

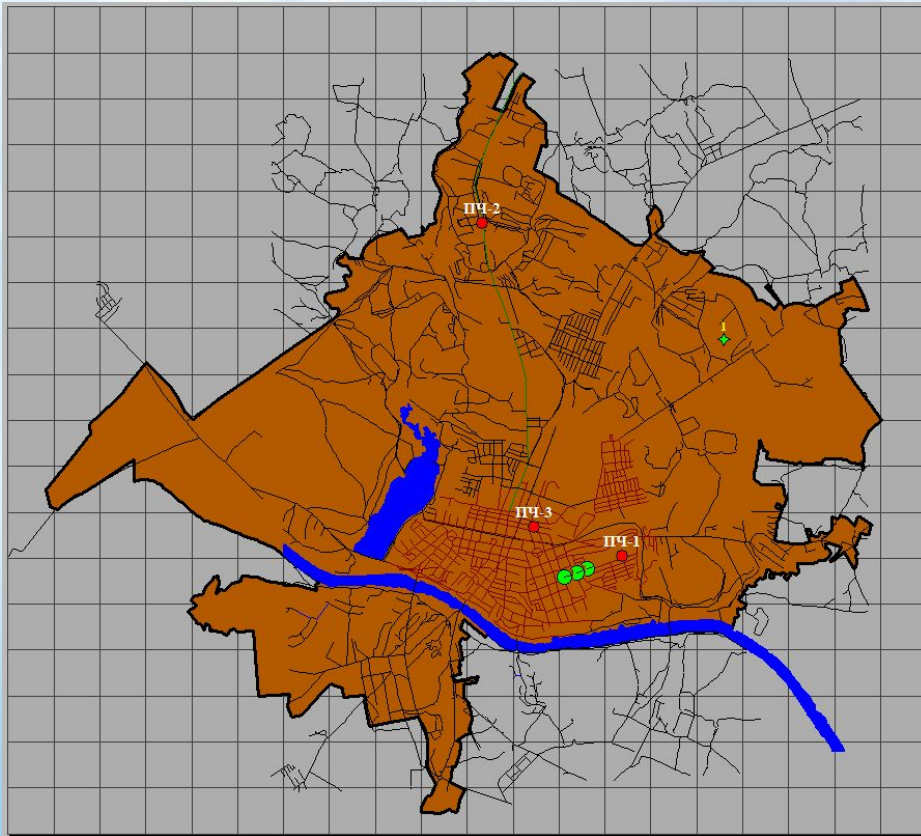
$\vec{a}$  – ускорение тела, м/с<sup>2</sup>  
 $\vec{F}$  – сила, действующая на тело, Н  
 $m$  – масса тела, кг

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

$F_{12}$  – сила действия первого тела на второе  
 $F_{21}$  – сила действия второго тела на первое

**Имитационные модели** представляют собой совокупность программ для ЭВМ, с помощью которых воспроизводятся алгоритмы и процедуры, описывающие процесс функционирования исследуемой системы.



В этом случае деятельность системы с присущими ей особенностями имитируется на ЭВМ. Многократные машинные эксперименты, результаты которых обрабатываются с помощью методов **математической статистики**, позволяют изучить и проанализировать свойства данной системы.

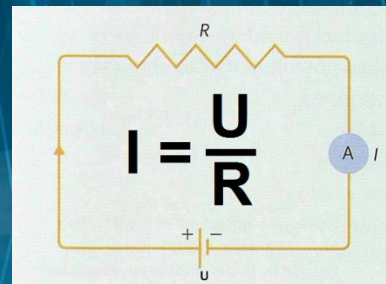
Имитационные модели обычно используют в тех случаях, когда не удается построить для изучаемой системы достаточно простые и удобные для работы аналитические модели (нередко используется сочетание простых аналитических и более сложных имитационных моделей).



**Детерминированные модели** однозначно описывают определенные процессы, течение которых можно полностью предсказать, зная начальные условия и закономерности протекания этих процессов.



Закон Ома:



**Вероятностные (стохастические) модели** используют для описания случайных процессов, течение которых описывается законами распределения вероятностей соответствующих случайных величин и однозначно предсказано быть не может.

Для исследования процесса функционирования пожарной охраны наиболее подходящими являются вероятностные модели, так как этот процесс складывается под влиянием огромного числа внутренних и внешних **случайных** факторов.

# Общий вид математической модели изучаемой зависимости

**X** - известные

нерегулируемые  
параметры

$$y = f(X, U, Z)$$

**y** - результат

функционирования

системы  
(показатель  
эффективности)

$$y = \varphi(X, U) + \varepsilon$$

**U** -  
регулируемы  
е

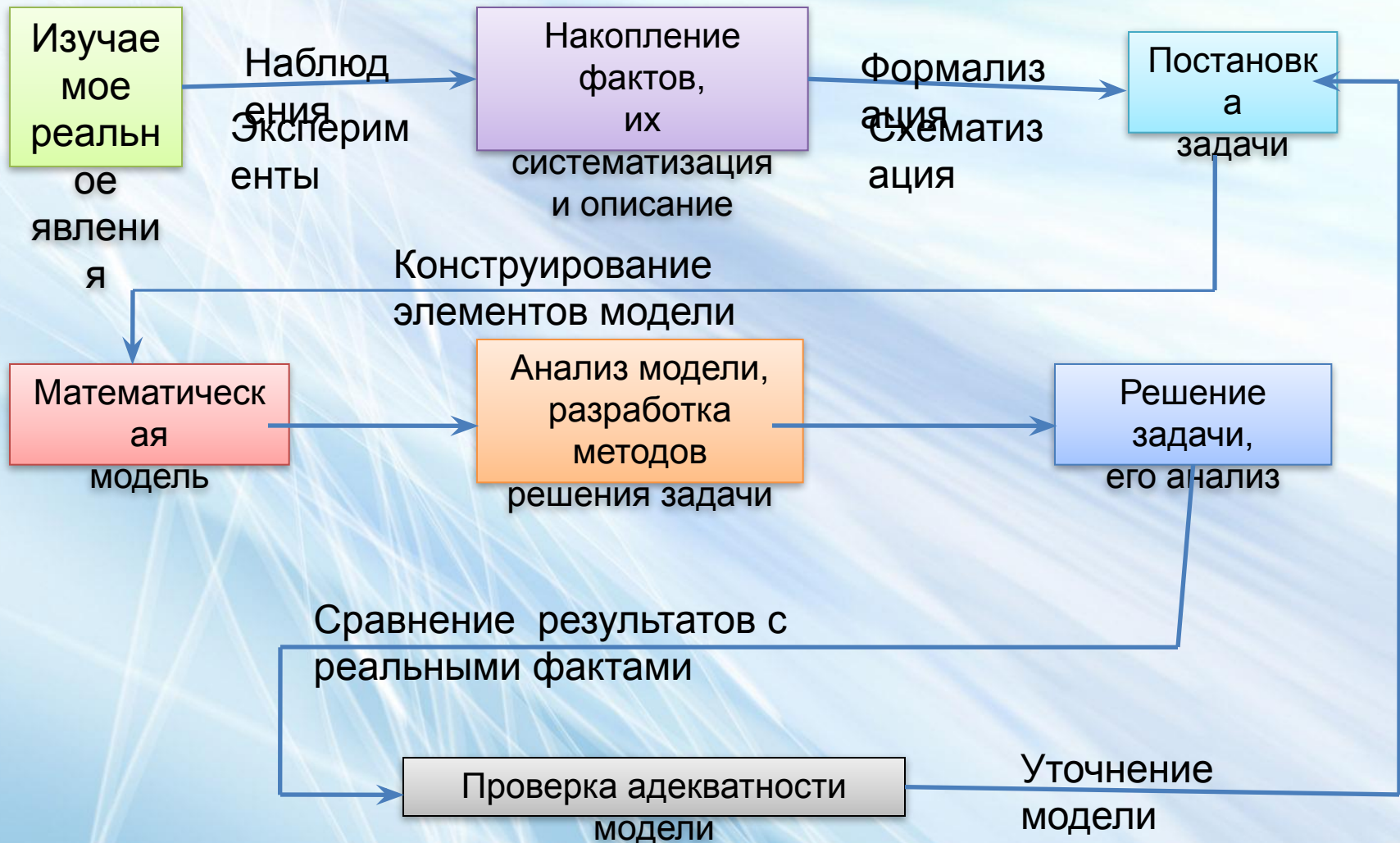
параметры

**Z** - неизвестные

нерегулируемые  
параметры  
(например,  
погода)



## Вопрос 7. Основные этапы моделирования



## Опасности, подстерегающие составителя модели:

- 1) **увязнуть в подробностях**  
(«из-за деревьев не увидеть леса»);
- 2) **слишком огрубить явление**  
(«выплеснуть вместе с водой и ребенка»).



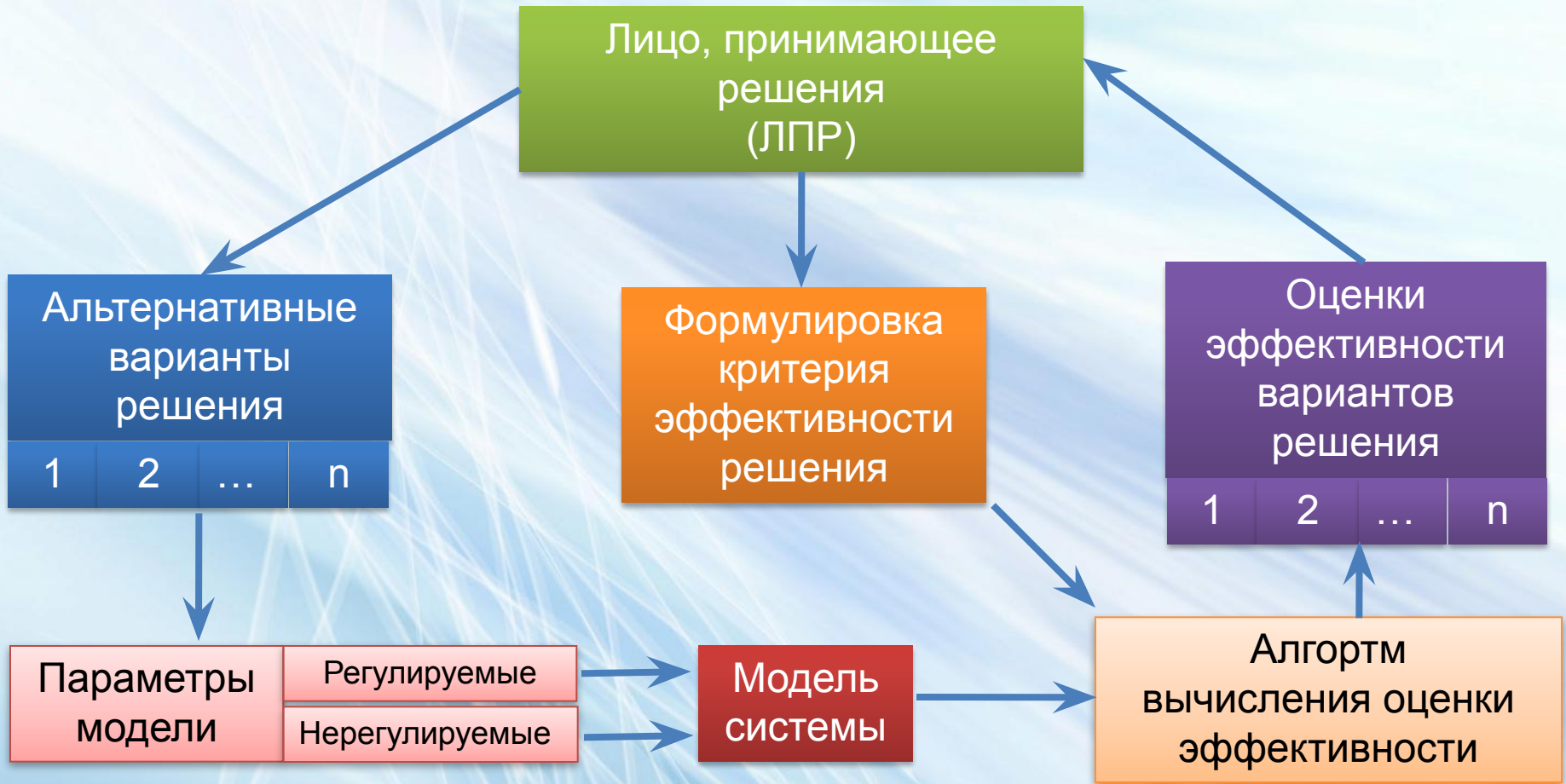
«Звуки умертвив,  
Музыку я разъял, как труп.  
Поверил я алгеброй гармонию...»



А. С. Пушкин «Моцарт и Сальери»



## Вопрос 8. Принятие организационно-управленческих решений с использованием математической модели системы



Как много существует точек зрения по поводу моего единственно правильного мнения!

Козьма  
Гуляев

Вот мы тут посоветались, и я решил!

Афоризм  
руководителей