

# «Моделирование»

Лектор:

**АЛИЕВ Тауфик Измайлович, д.т.н., профессор**

[tialiev@itmo.ru](mailto:tialiev@itmo.ru)

**комн. 1334**

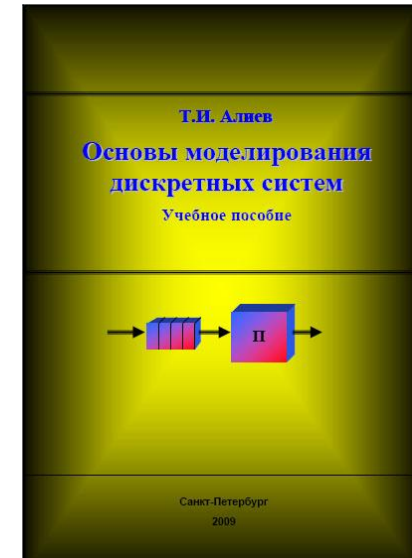
---

**Национальный исследовательский университет ИТМО  
(НИУ ИТМО)**

*Факультет программной инженерии и компьютерной техники*

# Рекомендуемая литература

1. Электронные учебно-методические материалы по дисциплине «Моделирование» в ИСУ ИТМО
2. Алиев Т.И. Моделирование дискретных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.  
[https://books.ifmo.ru/book/445/osnovy\\_modelirovaniya\\_diskretnyh\\_sistem.htm](https://books.ifmo.ru/book/445/osnovy_modelirovaniya_diskretnyh_sistem.htm)
3. Алиев Т.И., Муравьева-Витковская Л.А., Соснин В.В. Моделирование: задачи, задания, тесты. Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2011. – 197 с. [https://books.ifmo.ru/book/686/modelirovanie:\\_zadachi,\\_zadaniya,\\_testy.htm](https://books.ifmo.ru/book/686/modelirovanie:_zadachi,_zadaniya,_testy.htm)
4. Алиев Т.И. Основы проектирования систем. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 120 с.  
[https://books.ifmo.ru/book/1638/osnovy\\_proektirovaniya\\_sistem:\\_uchebnoe\\_posobie..htm](https://books.ifmo.ru/book/1638/osnovy_proektirovaniya_sistem:_uchebnoe_posobie..htm)
5. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.: ил.
6. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник для академического бакалавриата / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. — 7-е изд. — М.: Изд-во Юрайт, 2017. — 343 с.



# Вместо ПРЕДИСЛОВИЯ

## Понятия модели и их многообразие

Модель — это:

- **объект**, обладающий существенными свойствами другого (реального) объекта (системы) и используемый для описания протекающих в реальном объекте процессов и/или для изучения его свойств;
- упрощенное **представление** реального объекта (устройства) и/или протекающих в нем процессов, явлений;
- ...

Виды **моделей** (**объектов моделирования**):

- **образец** изделия: модель **одежды, обуви,...**;
- материальный **объект** (**макет**) в уменьшенном виде: модель **здания, самолета, автомобиля, корабля, ...**;
- **натурщик** или **натурщица**, позирующие перед фотографом или художником;
- **человек**, демонстрирующий на подиуме **образцы одежды**;
- **художественное произведение** (картина, фотография), отображающее **реальность**;
- **математическое описание** физического объекта, системы или процесса (модель **атома, химического элемента, управления объектом, компьютерной сети, ...**);
- компьютерная программа, ...

# Вместо ПРЕДИСЛОВИЯ

## Примеры систем для моделирования

*Работая над решением задачи, всегда полезно знать ответ. (Закон Мэрфи)*

### 1. Перекресток со светофорами, зеленый сигнал которых в каждом направлении может гореть:

а) 10 секунд; б) 30 секунд; в) 60 с; г) 120 с; ...



### 2. В высотном доме:

- а) 1 лифт вместимостью 40 человек;
- б) 2 лифта вместимостью по 20 человек;
- в) 4 лифта вместимостью по 10 человек;
- г) ...

### 3. Сервер локальной сети:

1 сервер с производительностью 1000 запросов/с;

2 сервера с производительностью каждого сервера 500 запросов/с.



### 4. Канал связи сервера локальной сети с маршрутизатором:

- а) с пропускной способностью 100 Мбит/с или 1 Гбит/с;
- б) с пропускной способностью 100 Мбит/с или 1 Гбит/с при условии 10-ти кратного увеличения числа пользователей ЛВС.

# Вместо ПРЕДИСЛОВИЯ

## Система – как объект моделирования

**Система** – объект, обладающий определенными особенностями (свойствами).

**Модель** – математический или физический объект такой же или другой природы, обладающий такими же (адекватными) свойствами, что и моделируемый объект (система).

## Виды моделирования систем

### 1. По классу моделей

- **Математическое моделирование**

- Статистическое моделирование
- Имитационное моделирование
  - ✓ Экономико-математическое моделирование
  - ✓ Математико-картографическое моделирование
  - ✓ Логическое моделирование

- **Физическое моделирование**

- Натурное моделирование

- **Компьютерное моделирование**

### 2. По задачам

- Структурное моделирование
- Функциональное моделирование
- Нагрузочное моделирование
- Информационное моделирование
- Графическое и геометрическое моделирование
- Эволюционное моделирование
- ...

# Разделы дисциплины

*«Даже если ваше объяснение настолько ясно, что исключает всякое ложное толкование, все равно найдется человек, который поймет вас неправильно» (Законы Мэрфи)*

## Часть 1:

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. Общие вопросы моделирования          | (см. [2]: Раздел 1)         |
| 2. Модели дискретных систем             | (см. [2]: Раздел 3)         |
| 3. Имитационное моделирование           | (см. [2]: Раздел 6)         |
| 4. Анализ свойств базовых моделей       | (см. [2]: Раздел 4)         |
| 5. Сетевые модели дискретных систем     | (см. [2]: п. 3.4, 4.4, 4.5) |
| 6. Системы с приоритетным обслуживанием | (см. [2]: п. 4.3)           |
| 7. Модели компьютерных систем           | (см. [4]: п. 4.4, 4.5)      |

## Часть 2: дополнительные материалы.

- 
2. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.  
[https://books.ifmo.ru/book/445/osnovy\\_modelirovaniya\\_diskretnyh\\_sistem.htm](https://books.ifmo.ru/book/445/osnovy_modelirovaniya_diskretnyh_sistem.htm)
4. Алиев Т.И. Основы проектирования систем. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 120 с.  
[https://books.ifmo.ru/book/1638/osnovy\\_proektirovaniya\\_sistem:\\_uchebnoe\\_posobie..htm](https://books.ifmo.ru/book/1638/osnovy_proektirovaniya_sistem:_uchebnoe_posobie..htm)

# 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

1.1. Система

1.2. Модель

1.3. Задачи, методы и средства моделирования

1.4. Этапы моделирования

## Литература

### для самостоятельной подготовки

2. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с. **(Введение / Раздел 1 «Общие вопросы моделирования»)**

[https://books.ifmo.ru/book/445/osnovy\\_modelirovaniya\\_diskretnyh\\_sistem.htm](https://books.ifmo.ru/book/445/osnovy_modelirovaniya_diskretnyh_sistem.htm)

# 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

## Введение

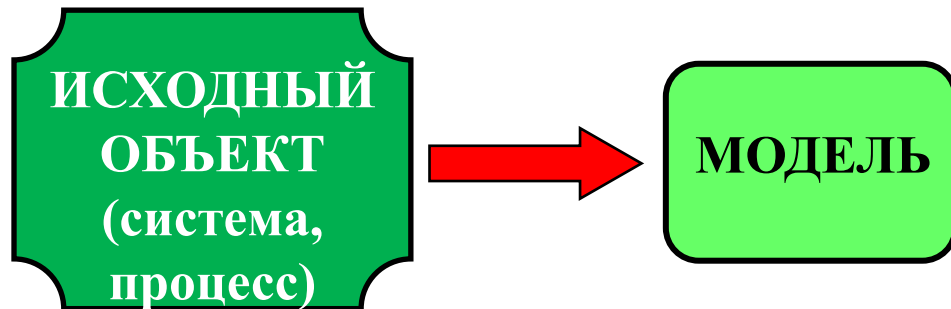
**Модель** – физический или абстрактный объект, адекватно отображающий некоторую **систему** и предназначенный для её **исследования** путем решения задач **анализа** и **синтеза**.

Два подхода к **исследованию** систем:

- 1) **измерения** на реальных системах  
**(экспериментальное исследование)**;
- 2) **моделирование**, когда измерения:
  - трудно выполнимы;
  - экономически невыгодны;
  - вообще невозможны**(исследование на моделях)**.

**Моделирование** – основа для **исследования систем**, а именно:

- изучения **свойств** систем;
- **анализа** поведения систем;
- **проектирования** сложных систем;
- **предсказания** поведения системы  
(**предиктивная** или **предсказательная аналитика**).



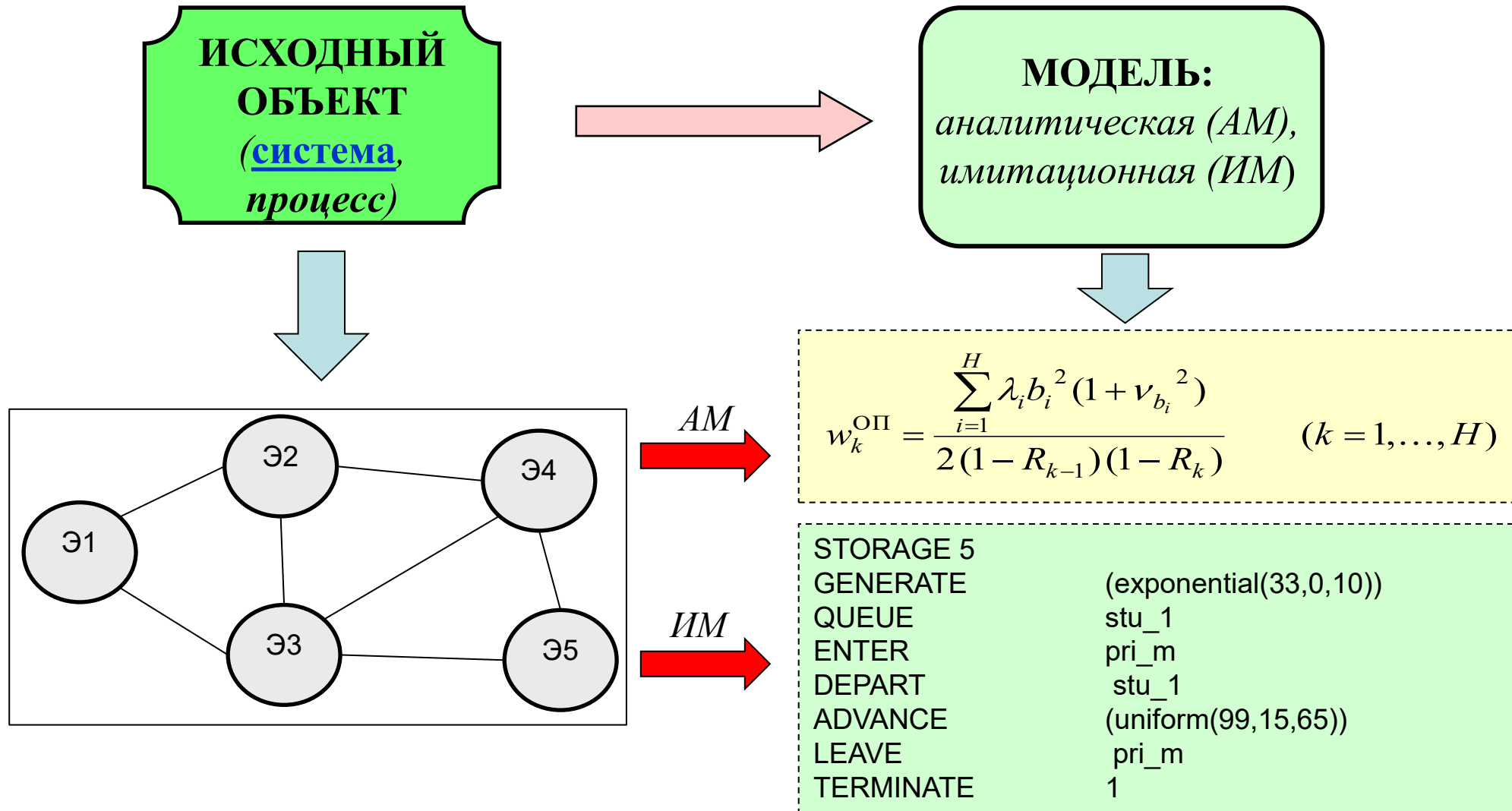
**Основные типы моделей:**

- физические / **математические**;
- качественные / **количественные** или **конструктивные**;
- аналитические / **имитационные**.



# 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

## Введение

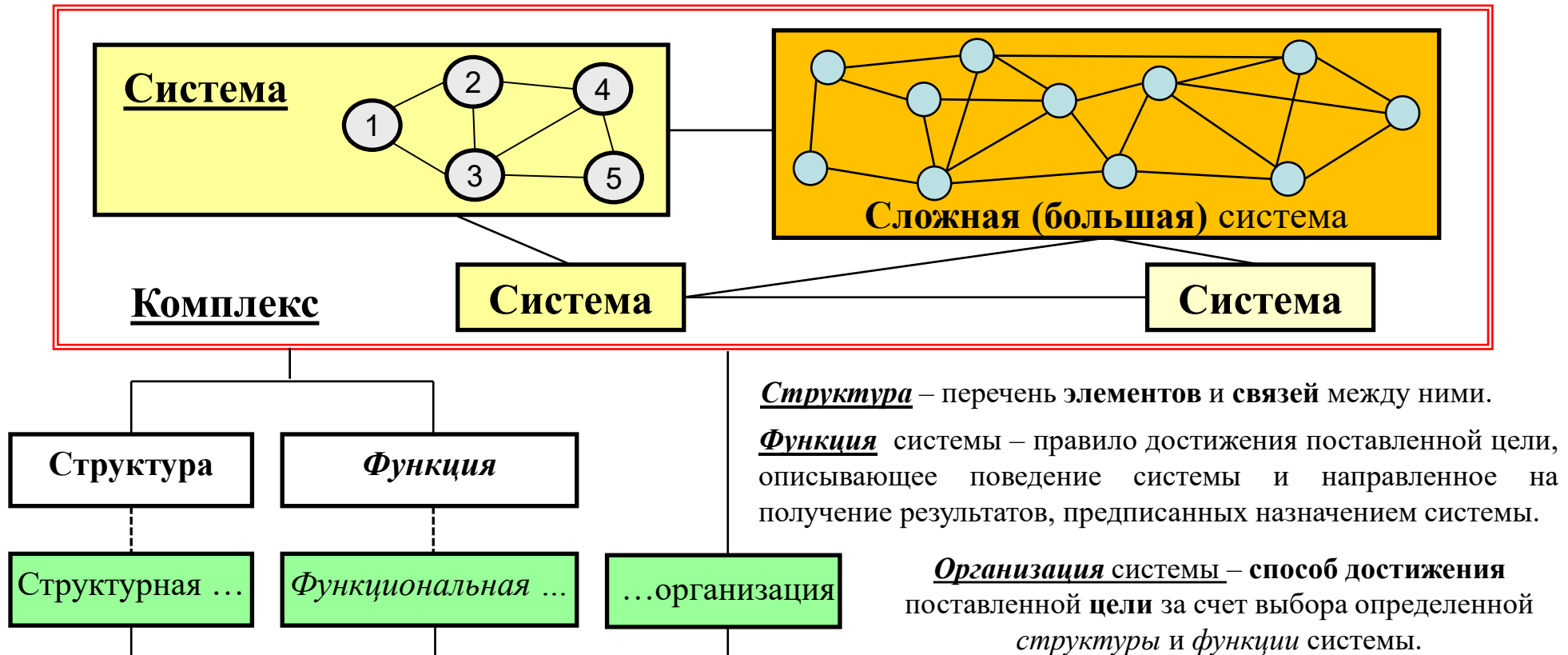


# 1.1. СИСТЕМА

## Основные понятия

**Система** (от греч. *systema* – целое, составленное из частей; соединение) – совокупность взаимосвязанных элементов, объединенных в одно целое для достижения некоторой **цели**, определяемой **назначением** системы.

«Всё в мире относительно» (*Закон относительности*)



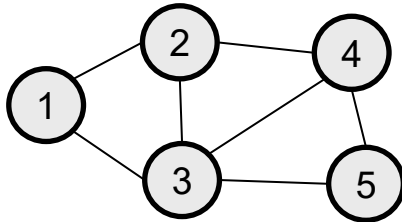
**Структурная организация** определяется **функцией**, возлагаемой на систему

## Способы описания структуры и функции

### Способы описания ...

с  
т  
р  
у  
к  
т  
у  
р  
ы

#### Графический



#### Аналитический

$N=5;$   
 $P=[p_{ij} \ (i,j=1,...,5)];$   
 $V_1=10, \dots, V_5=50;$   
 ...

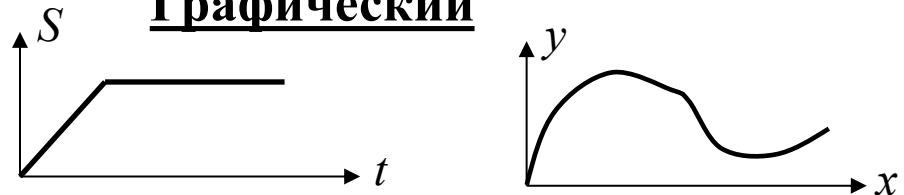
ф  
у  
н  
к  
ц  
и  
и

#### Алгоритмический

(словесное описание; блок-схема, ...)

Аналитический:  $I = \frac{U}{R}; \ S = Vt; \dots$

#### Графический



#### Табличный

$x$	1	2	5	...	19	20
$y$	5	35	98	...	39	77

# 1.1. СИСТЕМА

## Фундаментальные свойства систем

*«Большая система, образованная увеличением размеров меньшей, ведет себя совсем не так, как ее предшественница» (Теорема о неаддитивности поведения систем)*

### Общие (фундаментальные) свойства систем

#### Целостность

система рассматривается как единое целое, состоящее из *взаимодействующих* элементов, возможно неоднородных, но одновременно *совместимых*

#### Связность

наличие *существенных* связей между элементами, которые определяют *интегративные* свойства системы

#### Организованность

наличие определенной **структурной** и **функциональной** организации

#### Интегративность

наличие качеств, присущих системе в целом, но не свойственных ни одному из ее элементов в отдельности

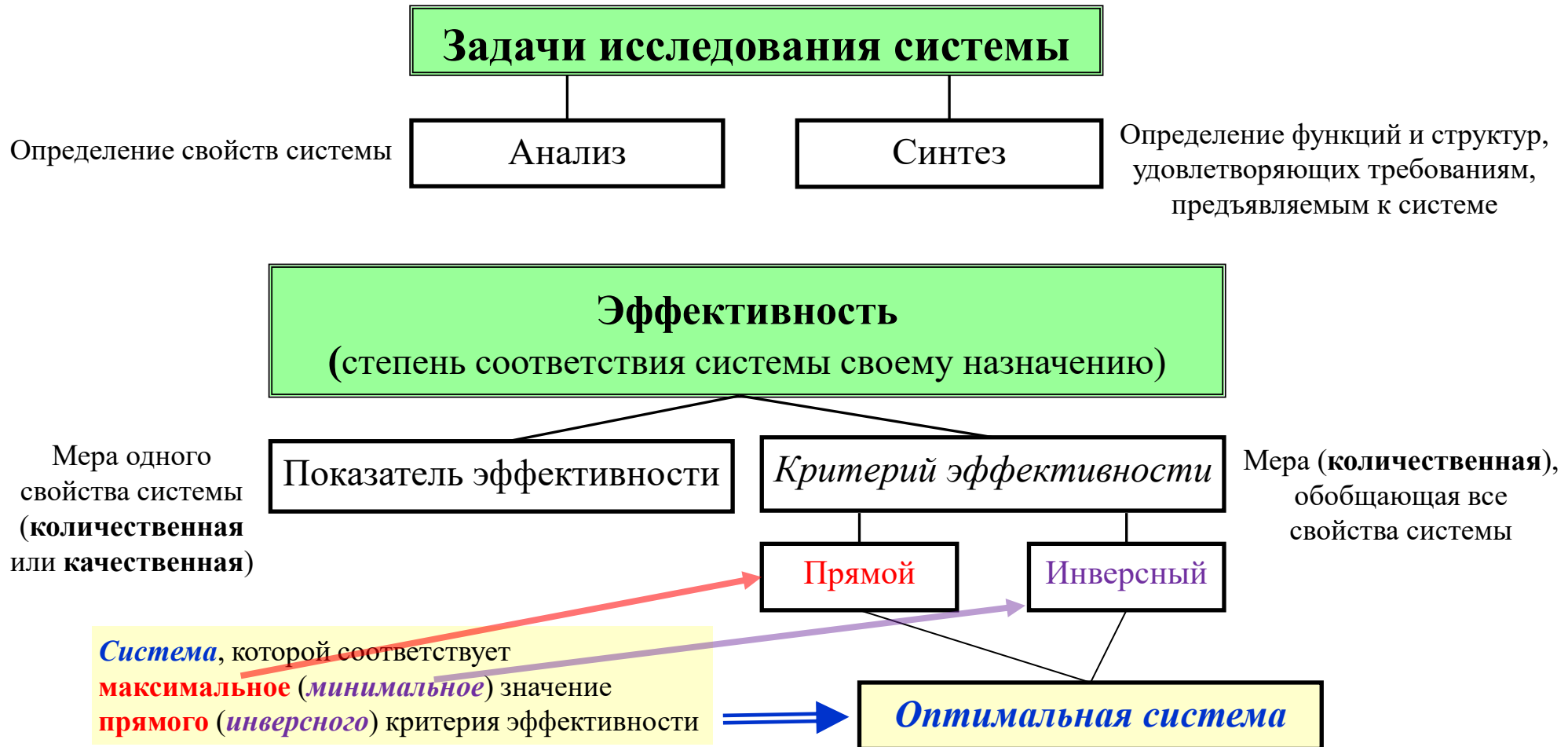
### Выводы:

- система не есть простая совокупность элементов;
- расчлняя систему на отдельные части и изучая каждую из них в отдельности, нельзя познать все свойства системы в целом.

# 1.1. СИСТЕМА

## Задачи исследования и эффективность системы

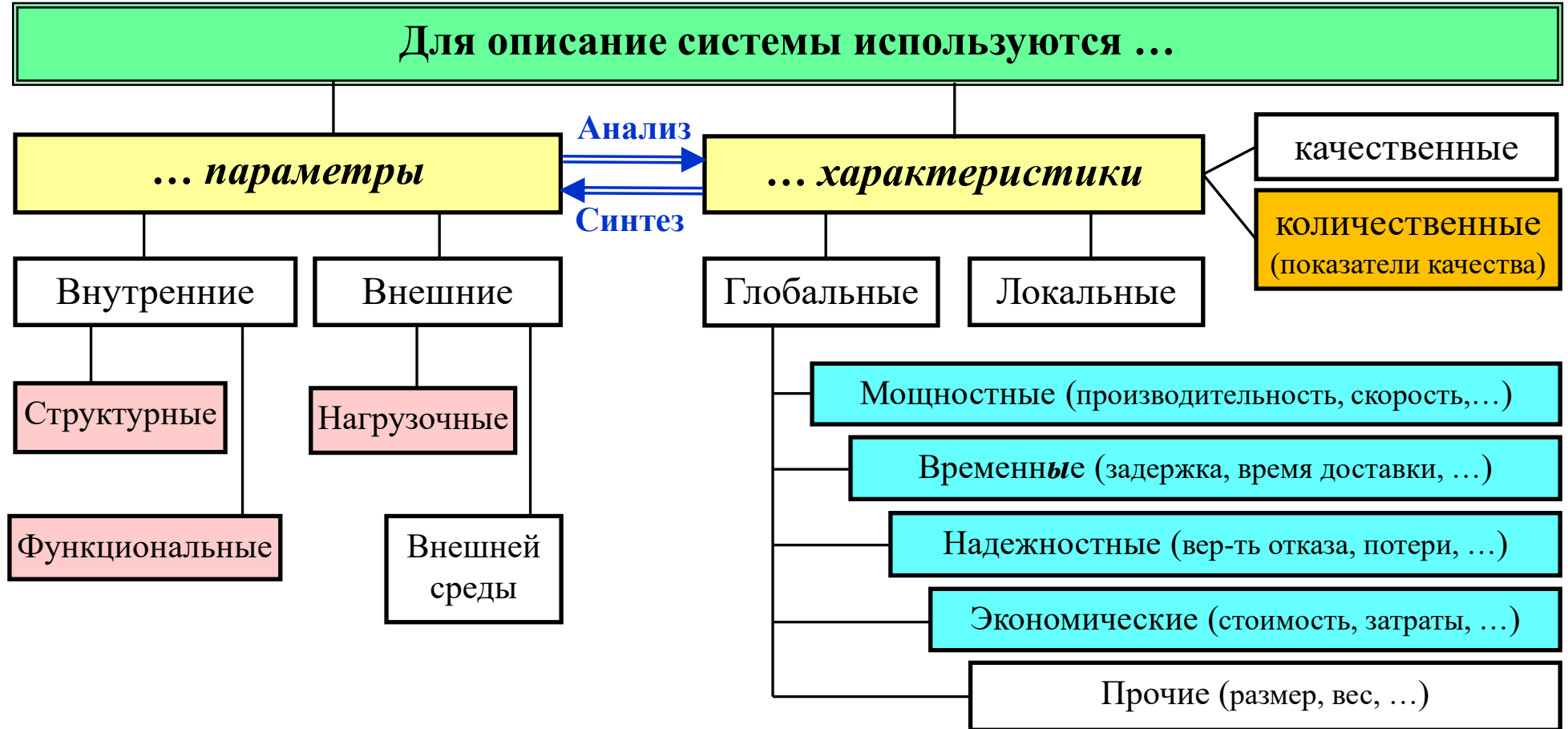
«Оптимист верит, что мы живем в лучшем из миров.  
Пессимист боится, что так оно и есть» (Главный парадокс)



## 1.1. СИСТЕМА

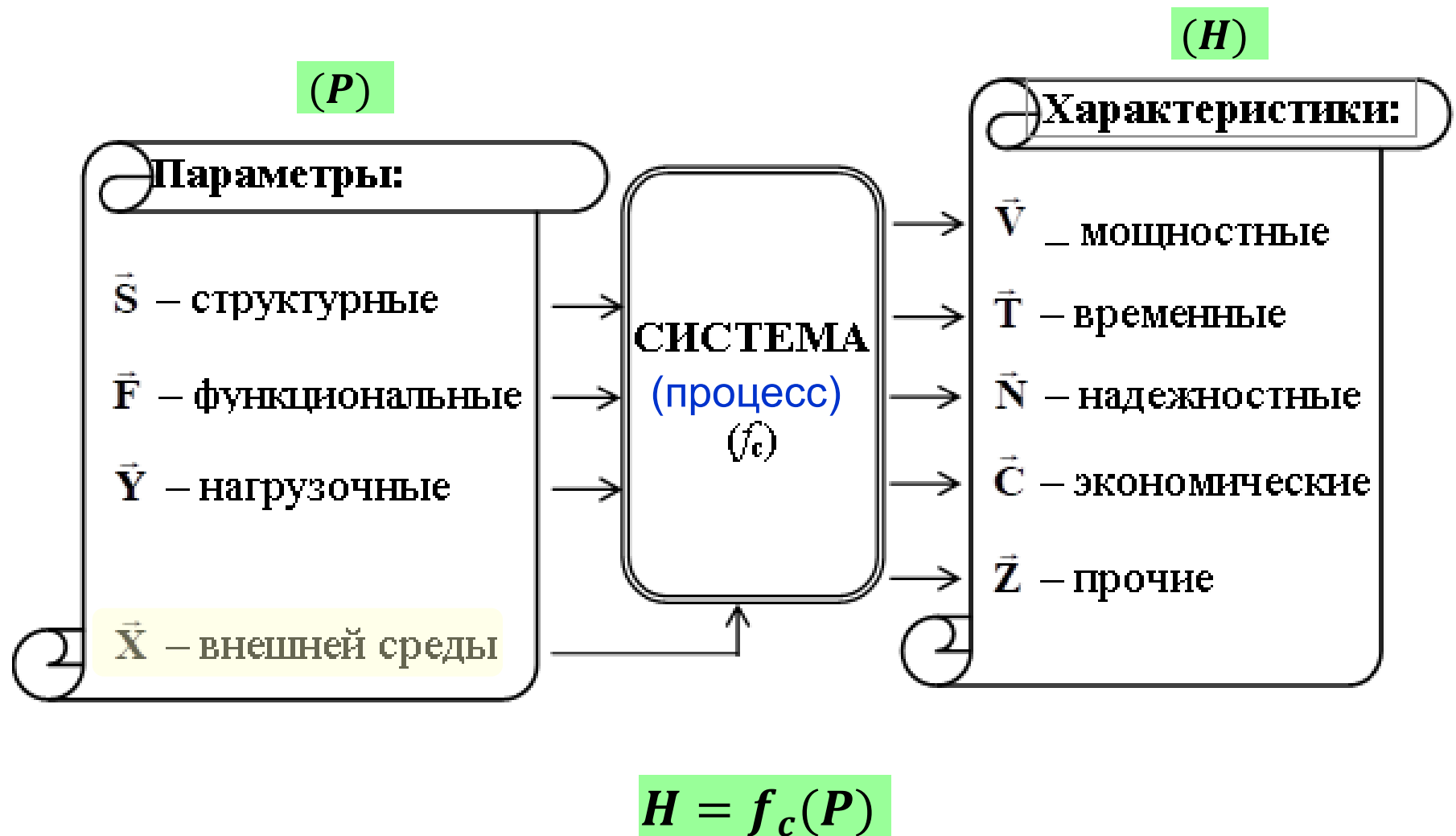
### Параметры и характеристики

«В любом наборе исходных данных самая надежная величина, не требующая никакой проверки, является ошибочной» (Третий закон Финэйгла)



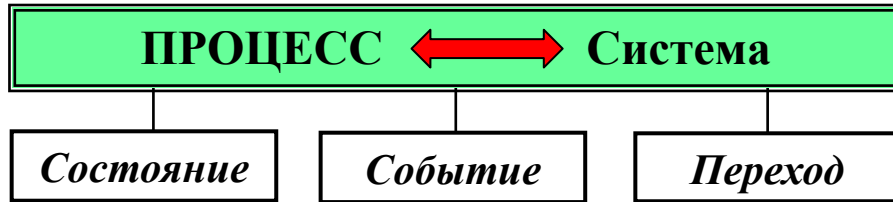
## 1.1. СИСТЕМА

### Взаимосвязь параметров и характеристик



# 1.1. СИСТЕМА

## Процессы в системе

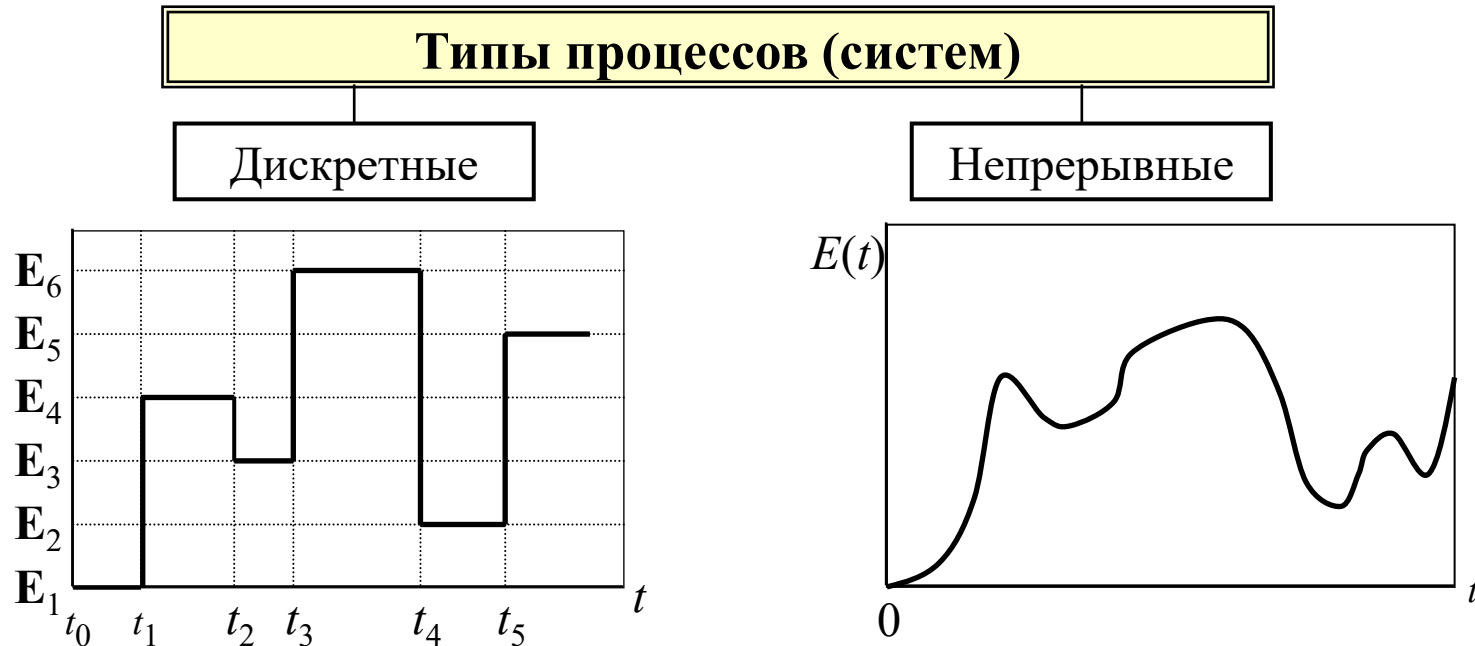


**Процесс** (от лат. processus – продвижение) – смена состояний системы во времени.

**Состояние** системы задается совокупностью значений переменных, описывающих это состояние.

**Переход** из одного состояния в другое, если изменяются переменные, описывающие ее состояние.

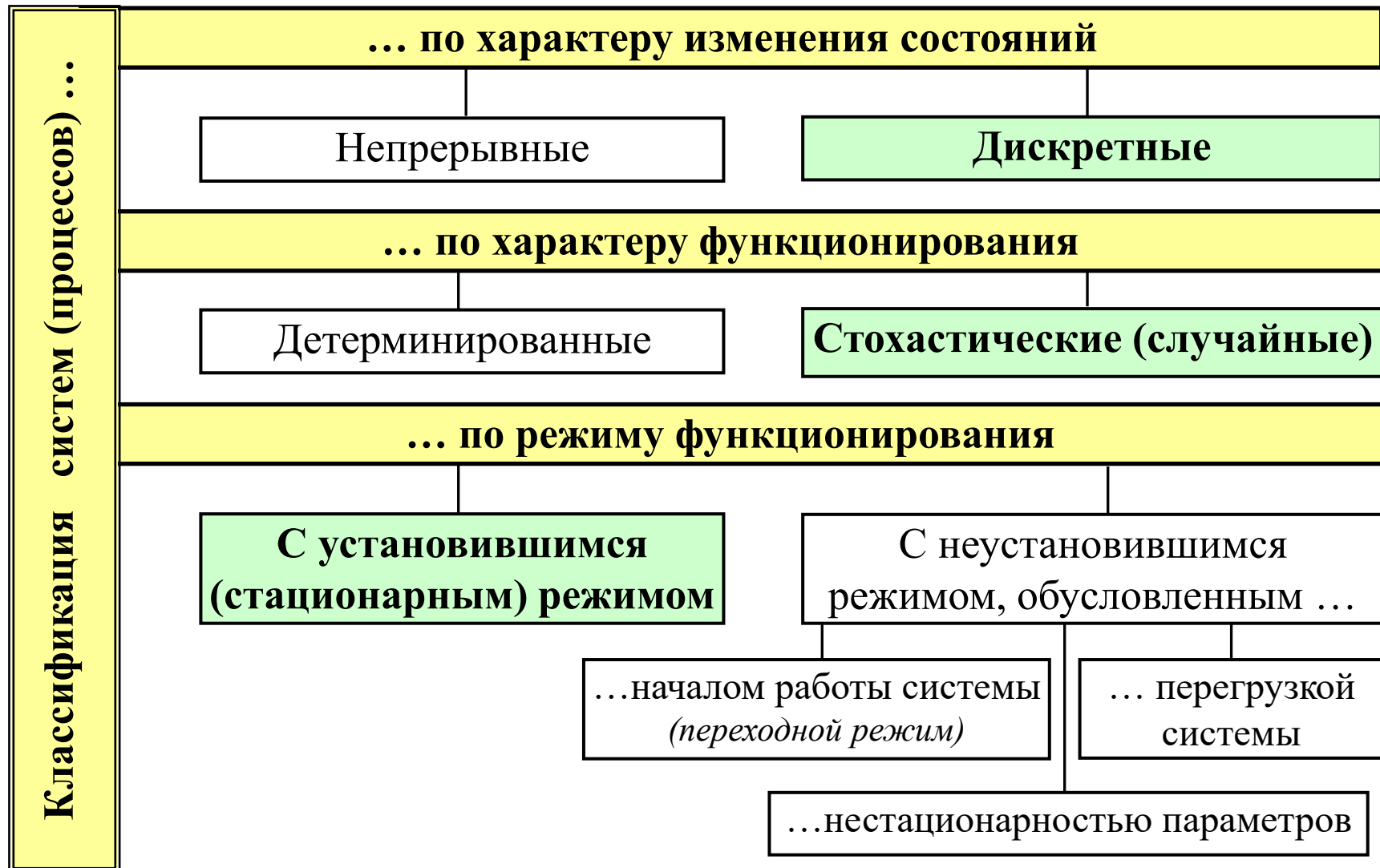
**Событие** – причина, вызывающая переход из состояния в состояние.





## 1.1. СИСТЕМА

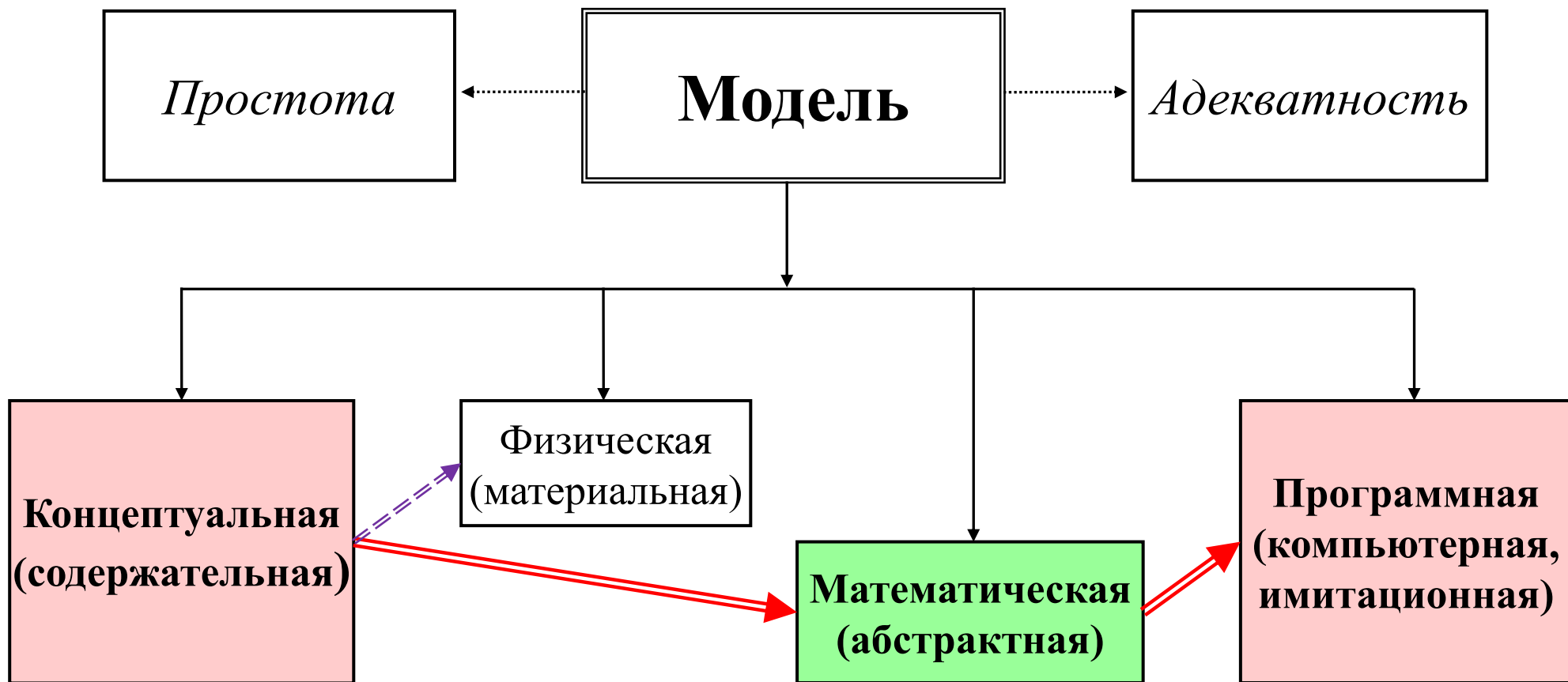
### Классификация систем и процессов



## 1.2. МОДЕЛЬ

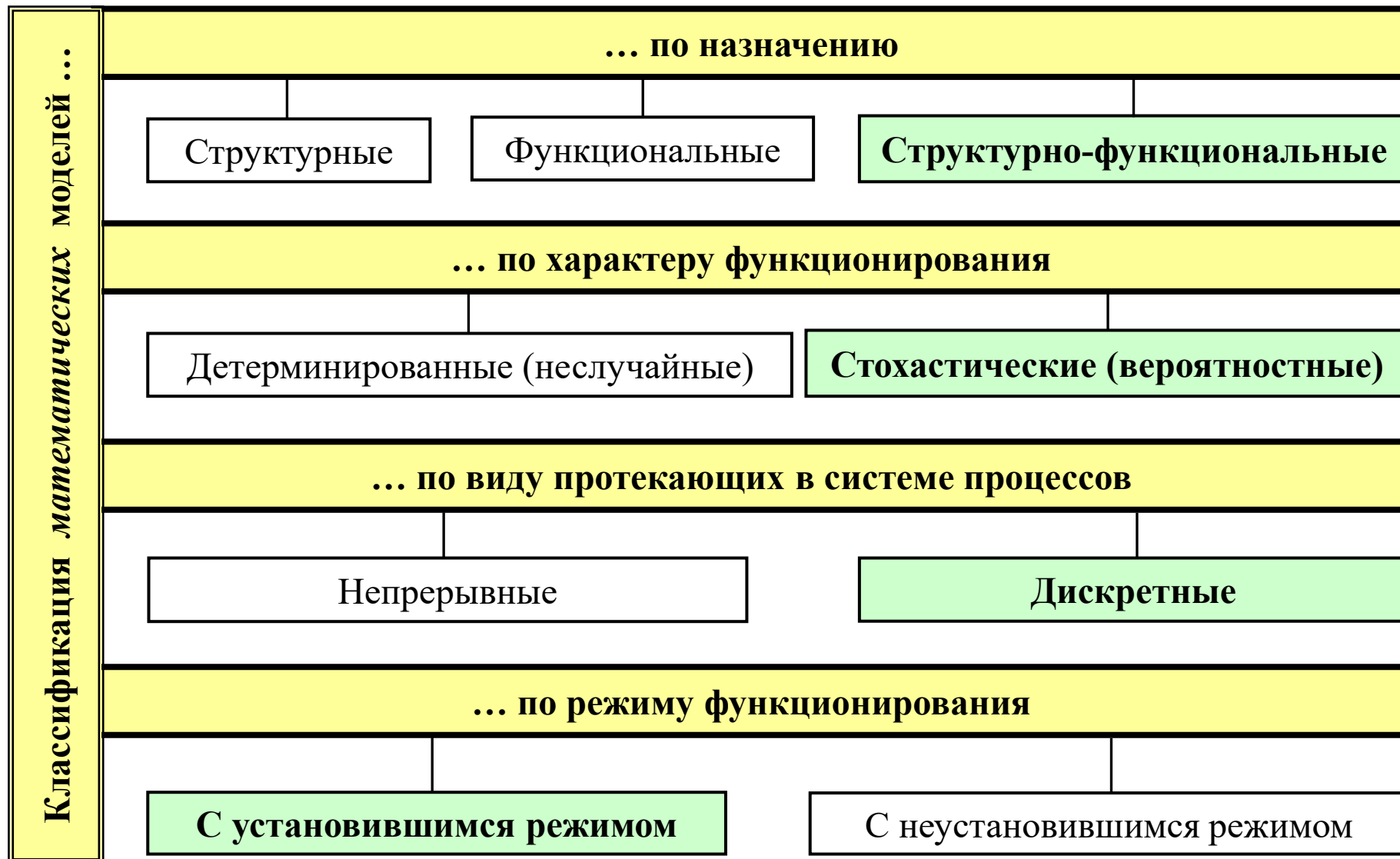
### Требования к моделям и типы моделей

«Усложнять - просто, упрощать – сложно» (Закон Мейера)



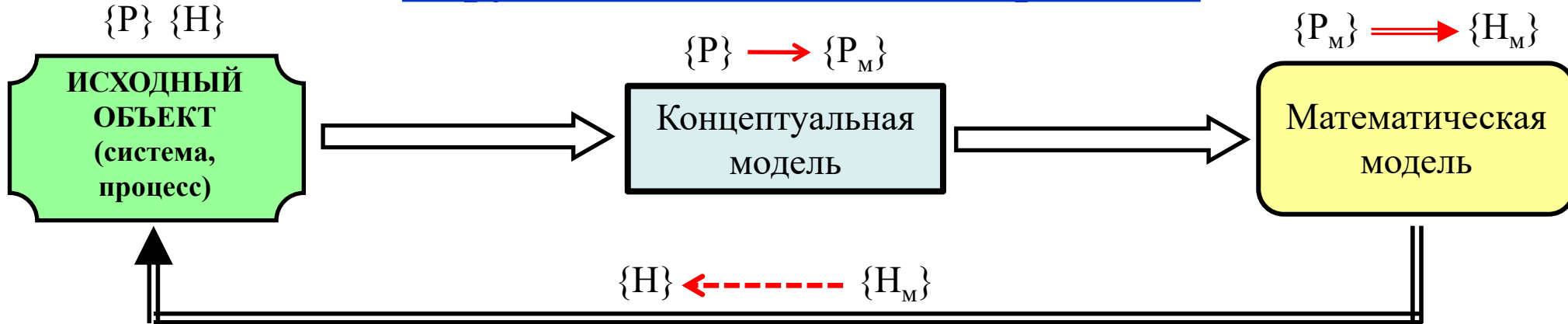
## 1.2. МОДЕЛЬ

### Классификация моделей



## 1.2. МОДЕЛЬ

### Укрупненная схема моделирования



$\{P\}$  – множество *системных параметров* (структурных, функциональных, нагрузочных, ...);  
 $\{H\}$  – множество *системных характеристик* (показателей качества) системы;

$\{P_M\}$  – множество *модельных параметров*;  
 $\{H_M\}$  – множество *модельных характеристик*.

$\{P\} \rightarrow \{P_M\}$  – преобразование системных параметров в модельные (параметризация)

$\{P_M\} \Rightarrow \{H_M\}$  – определение (расчет) модельных характеристик

$\{H\} \leftarrow \{H_M\}$  – интерпретация модельных характеристик в терминах системных

#### Задачи исследования систем и процессов:

- анализ свойств системы;
- синтез (оптимальный).

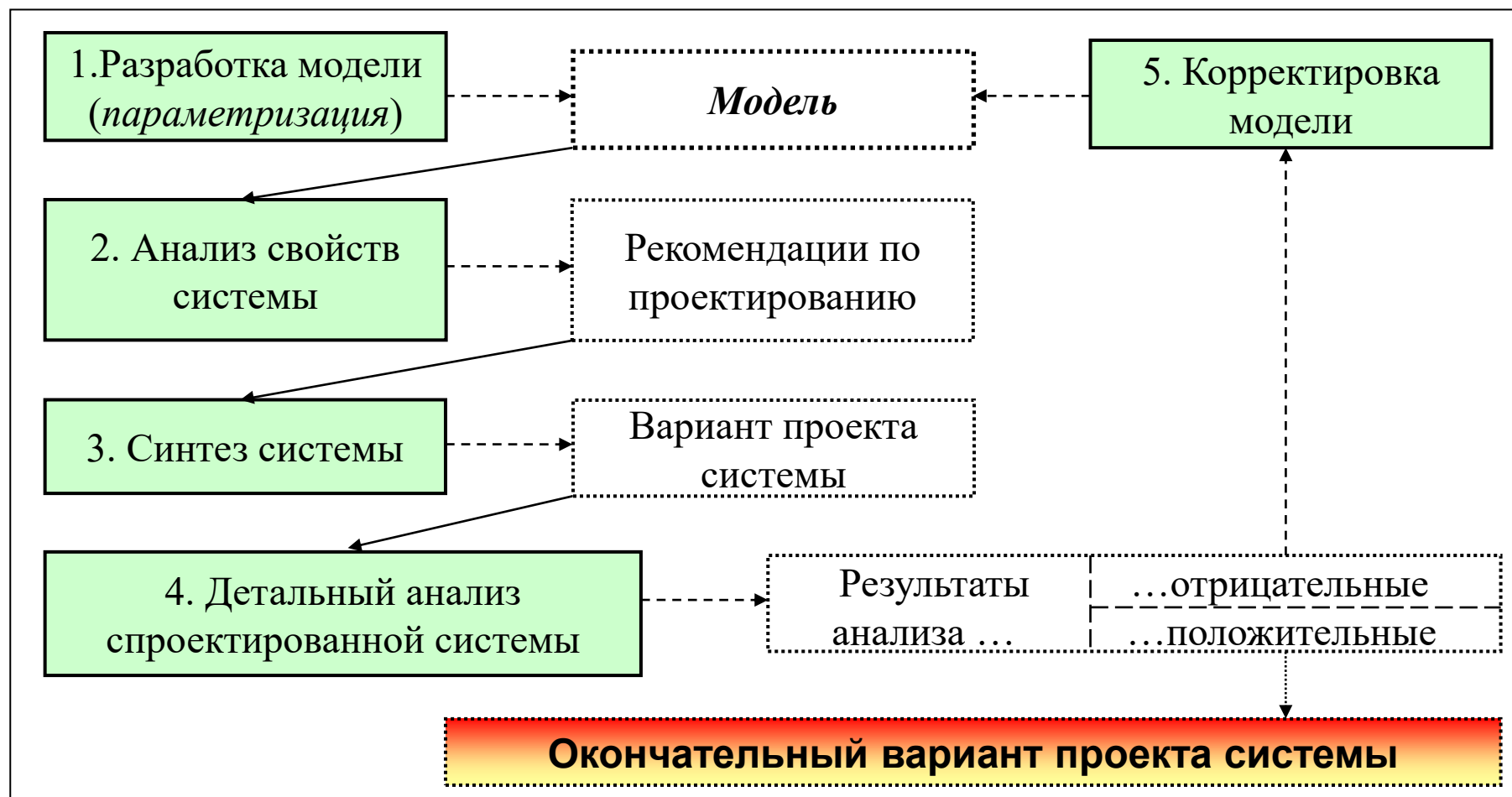
#### Методы исследования систем (процессов):

- экспериментальные (измерение);
- моделирование (математическое).

# 1.3. Задачи, методы и средства моделирования

## Задачи моделирования

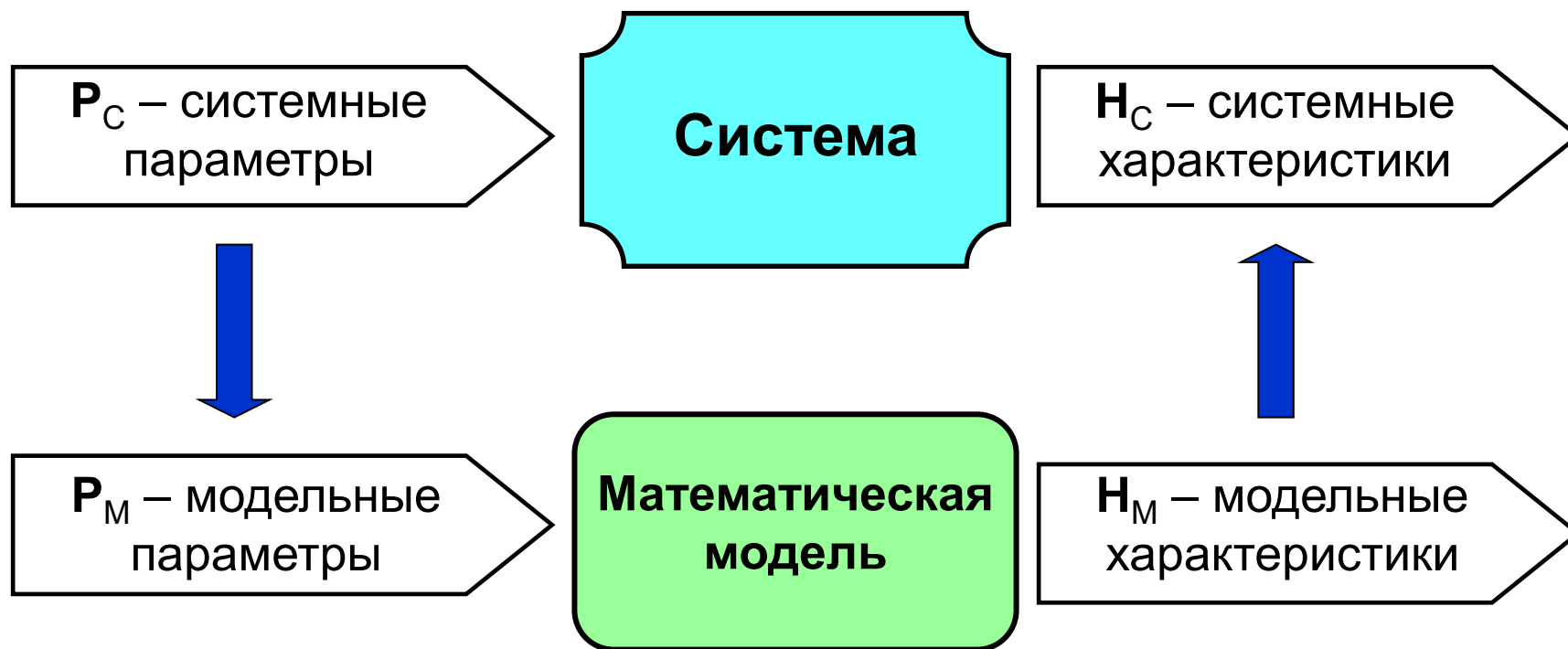
*«Нет невыполнимой работы для человека, который не обязан делать ее сам» (Закон Вейлера)*



## 1.3. Задачи, методы и средства моделирования

### Параметризация

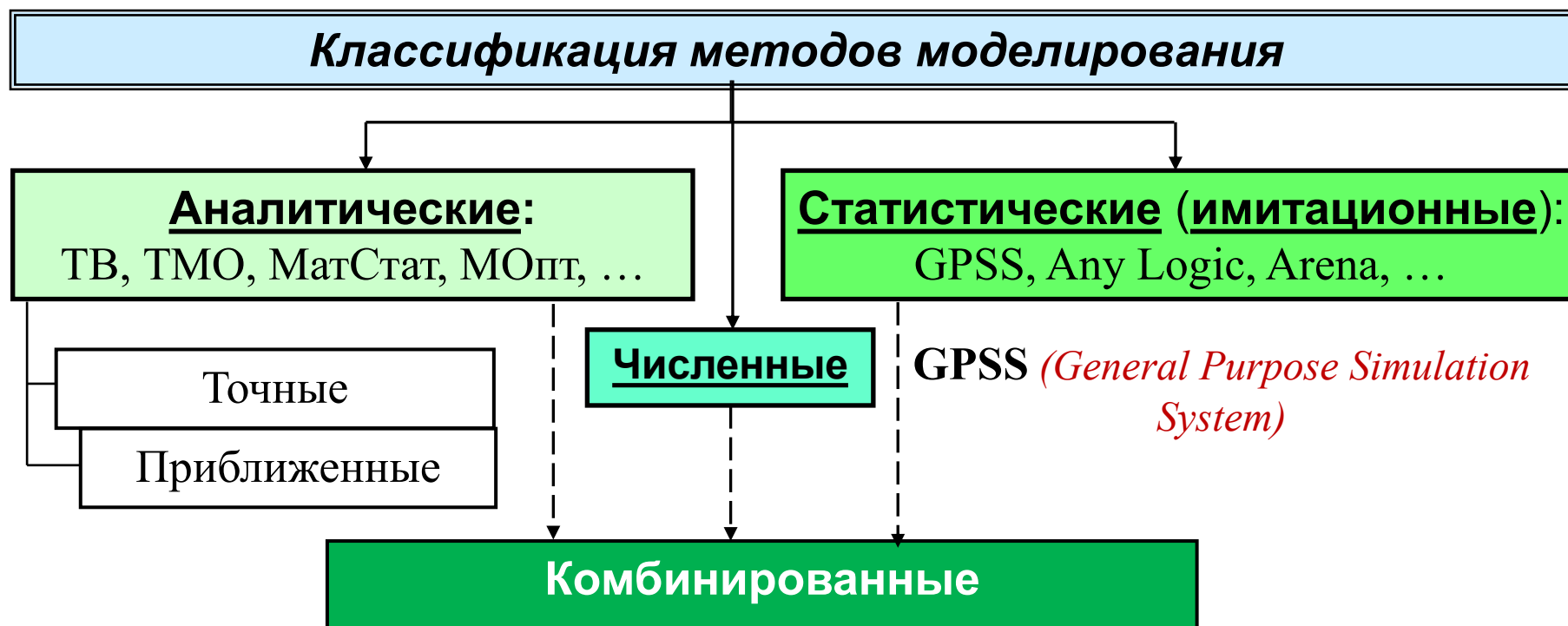
*«Если кажется, что работу сделать легко, это непременно будет трудно» (Теорема Стакмайера)*



# 1.3. Задачи, методы и средства моделирования

## Методы и средства моделирования

«Все не так легко, как кажется» (Следствие закона Мэрфи)



Достоинство имитационного (статистического) моделирования – универсальность – возможность проведения анализа систем любой степени сложности с любой степенью детализации.

## 1.3. Задачи, методы и средства моделирования

### Сравнительный анализ методов моделирования

Метод моделирования	Сложность метода	Общность рез-тов	Точность рез-тов	Затраты времени	Матер. затраты	Задачи синтеза
Аналитический	{+}	{++++}	+	{+}	{+}	{+}
Имитационный	+++	+	{++++}	++++	++++	++++
Комбинированный	++++	++	+++	+++	+++	+++

#### Проблемы (недостатки) имитационного моделирования:

- экспоненциальной рост *сложности модели* при увеличении количества параметров системы;
- большие временные затраты на *разработку* модели и *проведение многочисленных экспериментов*;
- высокие требования к *техническим средствам* моделирования (компьютеру);
- наличие **методической** (и не только) **погрешности**;
- необходимость грамотного **планирования экспериментов из-за необходимости** выполнения большого числа экспериментов для решения задач анализа свойств исследуемой системы;
- значительные проблемы при попытке решения задач *оптимального синтеза* (проектирования) больших систем (процессов с большим числом состояний);
- проблемы моделирования и **высоконагруженных систем** (а также малонагруженных).



## 1.3. Задачи, методы и средства моделирования

### Системы имитационного моделирования

**GPSS World** — среда имитационного моделирования общего назначения, охватывает области дискретного и непрерывного моделирования. Включает язык *PLUS* — язык программирования нижнего уровня. Система *GPSS World* допускает многозадачность, позволяя нескольким имитационным моделям выполняться одновременно.

Разработчик: компания *Minuteman Software Corp.*, США. Сайт: [www.minutemansoftware.com](http://www.minutemansoftware.com) .

**GPSS/H** — моделирование дискретных и непрерывных систем.

Разработчик: компания *Wolverine Software Corp.*, США. Сайт: [www.wolverinesoftware.com](http://www.wolverinesoftware.com) .

**Расширенный редактор GPSS World** — универсальная система имитационного моделирования, охватывающая весь цикл имитационных исследований, от постановки задачи до документирования результатов. Основные особенности системы:

- высокий уровень интерактивности при проведении исследования;
- упрощение разработки моделей и проведения исследований;
- большой объем текстовой документации и оперативных подсказок.

Возможна организация облачного моделирования в сети Интернет. Имеется бесплатная студенческая версия системы.

Разработчик: компания **ООО «Элина-компьютер»**, Казань, Россия. Сайт: [www.elina-computer.ru](http://www.elina-computer.ru) .

## 1.3. Задачи, методы и средства моделирования

### Системы имитационного моделирования

**Arena** — система дискретного моделирования *производственных технологических процессов и операций, складской учет, банковская деятельность, оптимизация обслуживания клиентов в сфере услуг, транспортные задачи*. Имеет удобный объектно-ориентированный интерфейс и может адаптироваться к различным предметным областям, не требует написания программного кода, проста в использовании, но для ее освоения *требуется значительное время и достаточно глубокие знания теории вероятностей, математической статистики, теории массового обслуживания, сетей Петри и др.*

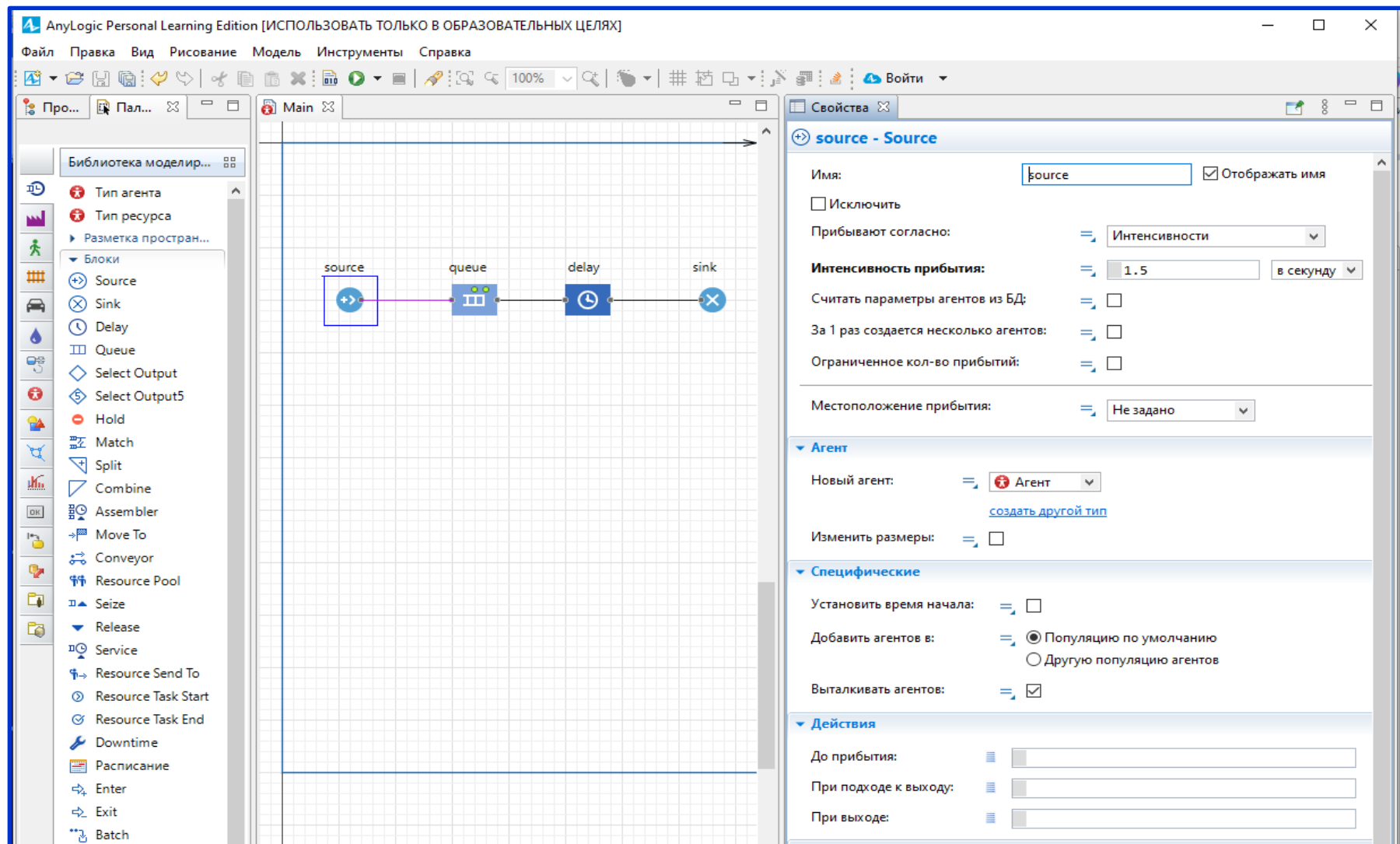
Разработчик: *Rockwell Automation Inc., Wexford, PA, США.* Сайт: [www.arenasimulation.com](http://www.arenasimulation.com).

**AnyLogic** поддерживает три подхода к созданию имитационных моделей: **дискретно-событийный** (процессно-ориентированный), **системно-динамический** и **агентный**, а также любую их комбинацию. *Графический интерфейс, инструменты и библиотеки* позволяют создавать модели для широкого круга задач в различных областях. *AnyLogic* широко применяется для бизнес-моделирования во многих международных компаниях, используется в образовании.

Разработчик: ***The AnyLogic Company, Россия.*** Сайт: [www.anylogic.ru](http://www.anylogic.ru).

# 1.3. Задачи, методы и средства моделирования

## Система имитационного моделирования AnyLogic



## 1.4. Этапы моделирования

### 1. Разработка модели

- Разработка *концептуальной* модели (определение состава параметров и характеристик и выявление степени влияния параметров на характеристики).
- Разработка (выбор) *математической* модели.
- *Параметризация* модели.
- Обоснование *адекватности* модели.

### 2. Анализ свойств

- Выбор *метода* моделирования (аналитический, имитационный, комбинированный).
- Выбор *средств* моделирования (GPSS, Any Logic, Arena, NS3, ...).
- Проведение множества модельных *экспериментов*.
- Обработка и формирование *результатов* моделирования.
- Оценка *погрешности* (точности) результатов моделирования.
- Перенос результатов моделирования на реальную систему (анализ свойств реальной системы).
- Формулирование рекомендаций для проектирования.

### 3. Синтез (проектирование) системы с заданными свойствами

- Формулирование требований и формирование *критерия эффективности*.
- Определение состава и структуры проектируемой системы (структурный синтез)
- Выбор, разработка и реализация принципов и методов функциональной организации (функциональный синтез)
- Оценка допустимой нагрузки в системе с заданной структурно-функциональной организацией

### 4. Детальный анализ спроектированной системы

# «Моделирование»

**Лектор:** **АЛИЕВ Тауфик Измайлович, д.т.н., профессор**

**[tialiev@itmo.ru](mailto:tialiev@itmo.ru)**

**(комн. 1334)**

---

**Национальный исследовательский университет ИТМО  
(НИУ ИТМО)**

*Факультет программной инженерии и компьютерной техники*