

# Кафедра транспортных технологий

## Дисциплина:

### «Моделирование транспортных процессов»

Название тем лекционного материала:

Тема 1. Математическое моделирование транспортных процессов и принципы их построения.

Тема 2. Построение моделей транспортного процесса с помощью унифицированного языка моделирования UML.

Тема 3. Статистические методы анализа данных параметров транспортного процесса.

Тема 4. Принципы имитационного моделирования транспортных процессов.

Тема 5. Планирование имитационных экспериментов.

Тема 6. Статистический анализ результатов моделирования.

Тема 7. Авторегрессионная модель.

Тема 8. Объектно-ориентированное программирование как инструмент реализации моделирования транспортных процессов.

Тема 9. Среда разработки MS Visual Studio и язык программирования C#.

Тема 10. Построения имитационных моделей в среде TNET.

Тема 11. Анализ данных в среде R Studio

## Название практических занятий:

Практическое занятие 1.

Определение ресурсов для эффективного функционирования транспортного процесса.

Практическое занятие 2.

Разработка модели транспортного процесса с использованием UML.

Практическое занятие 3.

Статистический анализ данных в программной среде Statistica.

Практическое занятие 4.

Разработка алгоритмов поиска эффективных транспортных процессов.

Практическое занятие 5.

Построение имитационных моделей транспортного процесса.

Практическое занятие 6.

Разработка базовой модели рынка грузовых перевозок в среде MS Visual Studio.

Практическое занятие 7.

Проведение регрессионного анализа в MS Excel и в среде R.

# Содержание курсовой работы:

## **1. Разработка структурной модели транспортного процесса.**

- 1.1 Описание транспортного процесса и его элементов.
- 1.2 Определение структуры элементов транспортного процесса и ресурсов для его эффективного функционирования.
- 1.3 Определение вариантов технологических схем транспортного процесса
- 1.4 Разработка алгоритма выбора эффективного транспортного процесса.
- 1.5 Выводы по разделу

## **2. Теоретические основы построения модели транспортного процесса**

- 2.1 Построение аналитической модели транспортного процесса.
- 2.2 Разработка UML диаграммы базовых классов разработанного транспортного процесса.
- 2.3 Разработка кибернетической модели транспортного процесса
- 2.4 Выводы по разделу

## **3. Выполнение имитационного многофакторного эксперимента**

- 3.1 Статистический анализ данных управляемых переменных.
- 3.2 Определение дискретных значений параметров моделирования.
- 3.3 Построение плана эксперимента.
- 3.4 Реализация построенного плана эксперимента.
- 3.5 Выводы по разделу

## **4. Анализ результатов экспериментальных исследований**

- 4.1 Анализ влияния факторов на транспортный процесс
- 4.2 Построение регрессионных моделей
- 4.3 Выбор эффективной регрессионной модели по определенным параметрам
- 4.4 Определение эффективного варианта транспортного процесса
- 4.5 Выводы по разделу

Тема лекции №1

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ТРАНСПОРТНЫХ  
ПРОЦЕССОВ И  
ПРИНЦИПЫ ИХ  
ПОСТРОЕНИЯ.**

**Цель лекции – изучить основные  
виды моделей и способы их  
построения**

**План лекции.**

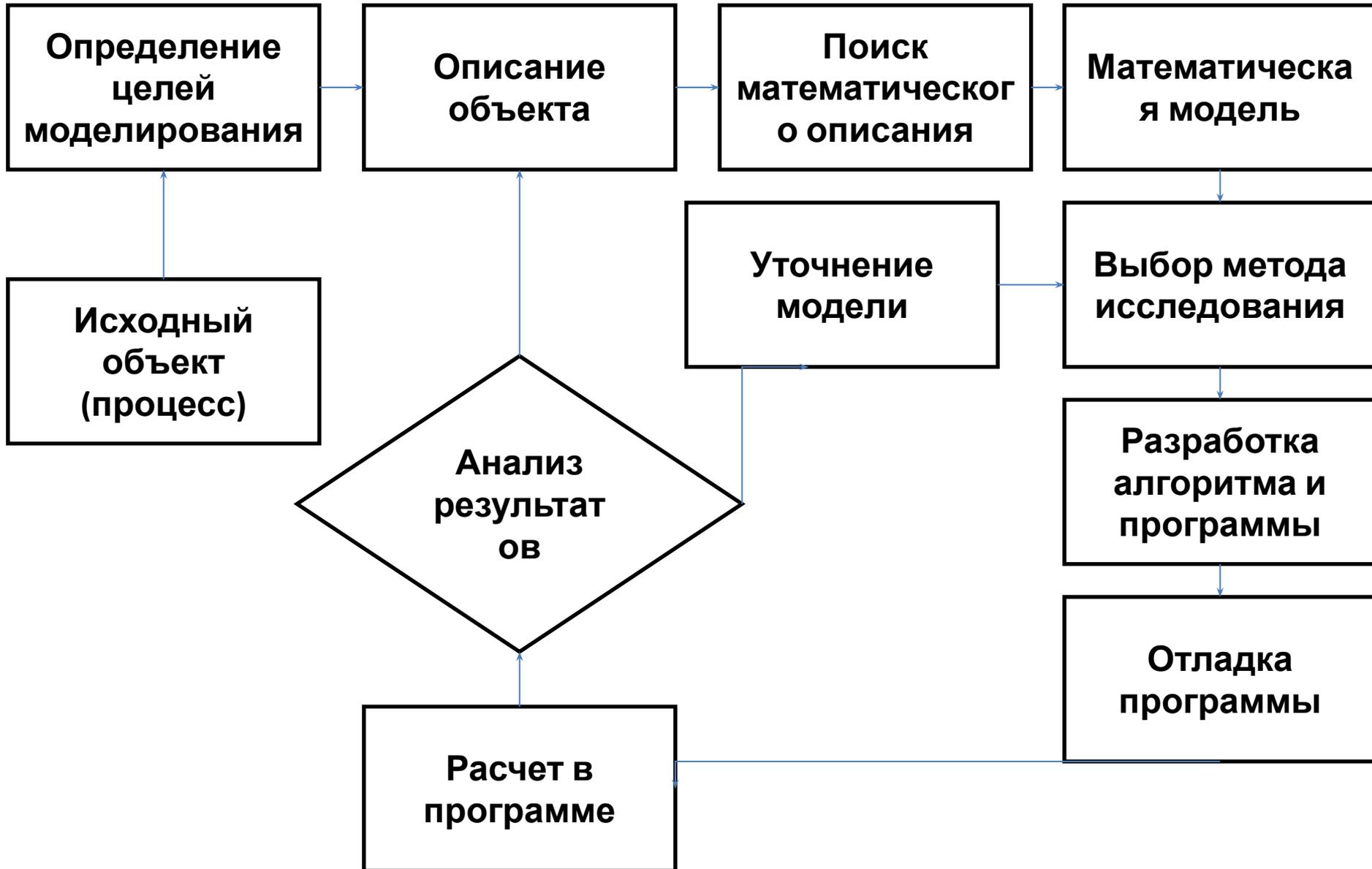
1. Понятие математических моделей и их классификация.
2. Детерминированные модели.
3. Вероятностные модели.
4. Агрегатные модели.

# 1. Понятие математических моделей и их классификация.

**Математическая модель** — *приближенное описание объекта моделирования, выраженное с помощью математической символики.*

**Математическое моделирование** – процесс определения соответствия данной реальной системы некоторой математической модели и исследование этой модели, позволяющее получить характеристики реальной системы.

# Этапы математического моделирования



# Описание этапов ММ

Первый этап — определение целей моделирования (определение структуры и взаимосвязи, для управления, и прогнозирования).

Второй этап: определение входных и выходных параметров модели; разделение входных параметров по степени важности влияния их изменений на выходные.

Третий этап: построение математической модели. На этом этапе происходит переход от абстрактной формулировки модели к формулировке, имеющей конкретное математическое представление.

Четвертый этап: выбор метода исследования математической модели. Чаще всего здесь используются численные методы, которые хорошо поддаются программированию.

Пятый этап: разработка алгоритма, составление и отладка программы — трудно формализуемый процесс.

Шестой этап: отладка программы. Работа программы проверяется на тестовой задаче с заранее известным ответом.

Седьмой этап: собственно вычислительный эксперимент, в процессе которого выясняется, соответствует ли модель реальному объекту (процессу)

Используя аппарат теории множеств, транспортный процесс рассматривается на базе модели как совокупность следующих составляющих:

$$M_{TP} = \left\{ \{X\}, \{Y\}, \{Z\}, \{E\}, \{L\} \right\}$$

где  $X$  – входящие воздействия, которые могут быть изменены в процессе принятия решения по совершенствованию транспортного процесса;

$Y$  – критерии эффективности транспортного процесса;

$Z$  – влияния внешней среды, которые не могут быть изменены в процессе принятия решения, но должны быть при этом учтены;

$E$  – составляющие элементы транспортного процесса;

$L$  – связи между элементами транспортного процесса.

# Характеристика $\{E\}$

## составляющего.

Составляющие элементы системы  $\{E\}$ , описывающие транспортный процесс, являются подпроцессами, из которых состоит технологический процесс. При этом описание элементов системы осуществляется на основании многочисленных показателей, являющихся характеристиками соответствующих подпроцессов. В качестве этих показателей могут быть, например, время и себестоимость.

# Характеристика $\{L\}$ составляющего.

Связи между элементами транспортного процесса в моделях описываются с помощью функциональных зависимостей или алгоритмов. Наличие зависимости свидетельствует о наличии связи и наоборот. Множество связей  $\{L\}$  содержит в себе четыре подмножества:

- связи между управляемыми входящими факторами - являются элементами системы ( $L_{XE}$ ): позволяют численно описать влияние управляемых входящих параметров на многочисленные характеристики отдельных подпроцессов;
- связи между входящими факторами, описывающие воздействие внешней среды, и элементами системы ( $L_{ZE}$ ): позволяют численно описать влияние параметров внешней среды на характеристики отдельных технологических процессов;
- связи между элементами системы ( $L_{EE}$ ): позволяют численно описать взаимное влияние подпроцессов;
- связи между элементами системы и показателями, отражающими эффективность ее функционирования ( $L_{EY}$ ): позволяют численно описать влияние характеристик отдельных элементов системы на общий результат функционирования.

# Классификация видов моделирования



# Математическое моделирование позволяет достичь следующих результатов:

- 1) соединить достоинства традиционных творческих и экспериментальных методов;
- 2) исследовать такие системы, натурное и физическое моделирование которых экономически не оправдано и трудноосуществимо;
- 3) гарантировать высокую эффективность применения вычислительной техники и существующих программ;
- 4) исследовать перспективные системы на стадии их проектирования;
- 5) исследовать труднодоступные или

## 2. Детерминированные модели.

**Детерминированная модель** [deterministic model] — аналитическое представление закономерности, операции и т.п., при которых для данной совокупности входных значений на выходе системы может быть получен единственный результат.

Такая модель может отображать как вероятностную систему (тогда она является некоторым ее упрощением), так и детерминированную систему.

**Детерминированные  
модели**

```
graph TD; A[Детерминированные модели] --> B[Непрерывно-детерминированные модели]; A --> C[Дискретно-детерминированные модели]; C --> D[Сети Петри];
```

**Непрерывно-  
детерминированные  
модели**

**Дискретно-  
детерминированные  
модели**

**Сети Петри**

# Непрерывно-детерминированные модели

В данной модели время  $t$  полагается непрерывной переменной, а случайным фактором при математическом дифференцировании уравнений.

Переменная, которая может принимать любые значения, т. е., не ограничена каким-либо определенным набором значений



Разностные уравнения – это уравнения, содержащие конечные разности искомой функции

$$\Phi(x_\tau, x_{\tau+1}, \dots, x_{\tau+n}, u_\tau, u_{\tau+1}, \dots, u_{\tau+m}, \theta, \tau) = 0,$$

где  $x_\tau = x(\tau\Delta)$ ,  $u_\tau = u(\tau\Delta)$  – соответственно состояние системы и внешнее воздействие в «дискретный момент времени  $\tau$ ».

# Формальное представление сети

## Петри:

$$PN = (P, T, F, W, M_0),$$

где  $P = (p_1, p_2, \dots, p_m)$  – конечное множество позиций;

$T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$  – конечное множество переходов;

$F$  – множество дуг (потокосвязей);

$$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$$

$W: F \rightarrow (1, 2, 3, \dots)$  – весовая функция;

$M_0: P \rightarrow (0, 1, 2, 3, \dots)$  – начальная маркировка;

# Графическая интерпретация сетей Петри

