

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
прикладной математики и  
информатики**

**А.М. Райгородский**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Математическое моделирование транспортных потоков
<b>по направлению:</b>	Прикладная математика и информатика
<b>профиль подготовки:</b>	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математических основ управления
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: А.В. Гасников, д-р физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры математических основ управления 15.05.2020

## Аннотация

Курс в целом посвящён математическому аппарату и некоторым физическим концепциям, которые могут пригодиться при создании (модернизации) комплексной интеллектуальной транспортной системы. О важности такой системы в борьбе с пробками много сказано за последнее время.

В курсе описан один из подходов к моделированию и исследованию транспортных потоков, основанный на теории конкурентного бескоалиционного равновесия, которая позволяет описать достаточно адекватный механизм функционирования автомобильных улично-дорожных сетей (УДС). Рассматриваются основные элементы транспортной системы, включающие в себя УДС, факторы, определяющие потребность в перевозках, критерии эффективности транспортных систем и принципы ее функционирования.

Отдельно обсуждаются такие модели транспортного потока как 1) макроскопические модели (модель Лайтхилла-Уизема-Ричардса (LWR), модель Такана, модель Уизема и др.) и 2) микроскопические модели (модель оптимальной скорости Ньюэлла, модель следования за лидером «Дженерал Моторс», модель Трайбера «разумного водителя», модели клеточных автоматов).

Подробно рассмотрена теория Кернера трех фаз в транспортном потоке – новый теоретический базис для интеллектуальных транспортных технологий.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Формирование у студентов знаний и навыков работы с понятиями и методами интегральной геометрии и комплексного анализа в приложении их к различным задачам математического моделирования транспортных потоков.

### Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов и моделей) в области математического моделирования транспортных потоков;
- приобретение теоретических знаний и практических умений и навыков в области математического моделирования транспортных потоков;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических исследований в области математического моделирования транспортных потоков.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, задач, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
	ОПК-3.2 Владеет исследовательскими методами и способен использовать их при решении новых задач, применяя знания из различных областей науки (техники)
	ОПК-3.1 Умеет анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.4 Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий; владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения

деятельности современный математический аппарат и алгоритмы, основные законы естествознания, современные языки программирования и программное обеспечение; операционные системы и сетевые технологии	ПК-2.2 Имеет практический опыт использования существующих методов и алгоритмов решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического разыскания и описания, опыт работы с научными источниками
	ПК-2.3 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

фундаментальные понятия, законы, теории математического моделирования транспортных потоков;

современные проблемы соответствующих разделов математического моделирования транспортных потоков;

понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем в разделах, входящих в базовую часть цикла математического моделирования транспортных потоков;

основные свойства соответствующих математических объектов;

аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач математического моделирования транспортных потоков.

уметь:

понять поставленную задачу;

использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач математического моделирования транспортных потоков;

оценивать корректность постановок задач;

строго доказывать или опровергать утверждение;

самостоятельно находить алгоритмы решения задач математического моделирования транспортных потоков, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;

самостоятельно видеть следствия полученных результатов;

точно представить математические знания в области математического моделирования транспортных потоков в устной и письменной форме.

владеть:

навыками освоения большого объема информации и решения задач математического моделирования транспортных потоков (в том числе, сложных);

навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;

культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов математического моделирования транспортных потоков;

предметным языком дискретной математики и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Гидродинамические модели транспортных потоков.		7		4

2	Равновесные модели транспортных потоков.		7		8
3	Стохастические модели транспортных потоков.		5		8
4	Алгоритмические аспекты моделирования транспортных потоков.		5		8
5	Статистические аспекты моделирования транспортных потоков.		6		2
Итого часов			30		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 3 (Осенний)

##### 1. Гидродинамические модели транспортных потоков.

Обобщенные решения законов сохранения. Метод исчезающей вязкости. Модель Лайтхилла-Уизема.

Задача об эволюции затора в транспортном потоке. Автомодельные решения. Промежуточная асимптотика. Гипотеза И.М. Гельфанда и теоремы Ильина-Олейник, Кружкова-Петросян, Хенкина-Шананина.

Схема Годунова. Модель клеточных автоматов К. Даганзо. Подход группы А.Б. Куржанского к управлению транспортными потоками. Модели более высокого порядка (А.С. Холодова и др.).

##### 2. Равновесные модели транспортных потоков.

Концепция равновесия макросистемы (понятие экстремали Больцмана) и принцип максимума энтропии. Теоремы Батищевой-Веденяпина и Малышева-Пирогова-Рыбко. Краткий обзор подходов ИСА РАН (Ю.С. Попков, В.И. Швецов).

Эволюционная теория игр и дарвиновский отбор. Связь с концепцией равновесия макросистем и принципом эволюционной оптимальности В.Н. Разжевайкина.

Вывод энтропийной модели расчета матрицы корреспонденций, BMW модели равновесного распределения транспортных потоков.

Модель стабильной динамики (Нестерова-де Пальмы) и эволюционное обобщение интерпретации Л.В. Канторовича двойственных множителей.

Концепция конкурентного равновесия (случай седловой точки в выпукло-вогнутой задаче) и ее эволюционные аспекты.

Многостадийные модели равновесного распределения транспортных потоков.

Эффективные, содержательно интерпретируемые, численные методы поиска транспортно-экономических равновесий. Метод потенциалов Канторовича-Гавурина. Метод зеркального спуска и метод двойственных усреднений Ю.Е. Нестерова. Связь с онлайн оптимизацией и с концепцией ограниченной рациональности.

Механизм Викри-Кларка-Гроуса и платные дороги. Идеи метаигрового синтеза.

##### 3. Стохастические модели транспортных потоков.

Сети (Джексона) массового обслуживания. Теорема Гордона-Ньюэлла. Термодинамический предельный переход. Метод большого канонического ансамбля. Изучение фазового перехода по Малышеву-Замятину и Л.Г. Афанасьевой.

Случайные графы, степенные законы, модели роста сетей. Неравенства Талаграна, Азума-Хеффдинга и теоремы Райгородского-Гречникова и др.

Процессы с запретами. Эргодические свойства транспортного потока. Теорема М.Л. Бланка.

#### 4. Алгоритмические аспекты моделирования транспортных потоков.

Задачи на графах. Кратчайший путь. Максимальный поток. Транспортная задача. Некоторые релаксации.

Задача Штейнера. Задача Монжа. Подход Л.В. Канторовича.

#### 5. Статистические аспекты моделирования транспортных потоков.

Интеллектуальный анализ транспортных данных. Метод наибольшего правдоподобия в форме В.Г. Спокойного. Приложение к идентификации параметров модели расчета матрицы корреспонденций.

### **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

### **6.Перечень рекомендуемой литературы**

#### Основная литература

1. Введение в математическое моделирование транспортных потоков [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. А. В. Гасникова ; предисл. М. С. Ликсутова .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : МЦНМО, 2013 .— 427 с.

#### Дополнительная литература

### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

<http://www.mou.mipt.ru/gasnikov1129>

### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

<http://www.mou.mipt.ru/gasnikov1129>

### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий курс «Математическое моделирование транспортных потоков», должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы, методы доказательств.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения.

Литература для самостоятельной работы:

1. Ortúzar J.D., Willumsen L.G. Modelling transport. JohnWiley & Sons, 2011.
2. Sandholm W. Population games and Evolutionary dynamics. Eco-nomic Learning and Social Evolution. MIT Press; Cambridge, 2010.
3. Algorithmic game theory. Ed. N. Nisan, T. Roughgarden, E. Tardos, V.V. Vazirani. Cambridge Univ. Press., 2007. [http://www.eecs.harvard.edu/cs285/Nisan\\_Non-printable.pdf](http://www.eecs.harvard.edu/cs285/Nisan_Non-printable.pdf)
4. Patriksson M. The traffic assignment problem. Models and methods. Utrecht, Netherlands: VSP, 1994.
5. Ahuja R.K., Magnati T.L., Orlin J.B. Network flows: Theory, algorithms and applications. Prentice Hall, 1993.
6. Sheffi Y. Urban transportation networks: Equilibrium analysis with mathematical programming methods. N.J.: Prentice–Hall Inc., Eng-lewood Cliffs, 1985.
7. Стенбринк П.А. Оптимизация транспортных сетей. М.: Транспорт, 1981.
8. Вильсон А.Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем. М.: Наука, 1978.
9. Гасников А.В., Гасникова Е.В. Об энтропийно-подобных функционалах ... // Математические заметки. 2013. Т. 93:6. С. 816–824.
10. Гасников А.В., Нестеров Ю.Е., Спокойный В.Г. Об эффективности одного метода рандомизации зеркального спуска в задачах онлайн-оптимизации // Автоматика и телемеханика. 2014.
11. Гасников А.В., Дорн Ю.В., Нестеров Ю.Е., Шпирко С.В. О трехстадийной версии модели стационарной динамики транспортных потоков // Математическое моделирование. Т. 26. 2014.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладная математика и информатика
<b>профиль подготовки:</b>	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математических основ управления
<b>курс:</b>	<u>2</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	А.В. Гасников, д-р физ.-мат. наук, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, задач, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
	ОПК-3.2 Владеет исследовательскими методами и способен использовать их при решении новых задач, применяя знания из различных областей науки (техники)
	ОПК-3.1 Умеет анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.4 Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности современный математический аппарат и алгоритмы, основные законы естествознания, современные языки программирования и программное обеспечение; операционные системы и сетевые технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Имеет практический опыт использования существующих методов и алгоритмов решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического разыскания и описания, опыт работы с научными источниками
	ПК-2.3 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Математическое моделирование транспортных потоков» обучающийся должен:

### знать:

фундаментальные понятия, законы, теории математического моделирования транспортных потоков;  
 современные проблемы соответствующих разделов математического моделирования транспортных потоков;  
 понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем в разделах, входящих в базовую часть цикла математического моделирования транспортных потоков;  
 основные свойства соответствующих математических объектов;  
 аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач математического моделирования транспортных потоков.

### уметь:



понять поставленную задачу;

использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач математического моделирования транспортных потоков;

оценивать корректность постановок задач;

строго доказывать или опровергать утверждение;

самостоятельно находить алгоритмы решения задач математического моделирования транспортных потоков, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;

самостоятельно видеть следствия полученных результатов;

точно представить математические знания в области математического моделирования транспортных потоков в устной и письменной форме.

**владеть:**

навыками освоения большого объема информации и решения задач математического моделирования транспортных потоков (в том числе, сложных);

навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;

культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов математического моделирования транспортных потоков;

предметным языком дискретной математики и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

### **3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена:

1. Обобщенные решения законов сохранения. Метод исчезающей вязкости. Модель Лайтхилла-Уизема.
2. Задача об эволюции затора в транспортном потоке. Автомодельные решения. Промежуточная асимптотика. Гипотеза И.М. Гельфанда и теоремы Ильина-Олейник, Кружкова-Петросян, Хенкина-Шананина.
3. Схема Годунова. Модель клеточных автоматов К. Даганзо. Подход группы А.Б. Куржанского к управлению транспортными потоками.
4. Концепция равновесия макросистемы (понятие экстремали Больцмана) и принцип максимума энтропии. Теоремы Батищевой-Веденяпина и Малышева-Пирогова-Рыбко.
5. Эволюционная теория игр и дарвиновский отбор.
6. Вывод энтропийной модели расчета матрицы корреспонденций, BMW модели равновесного распределения транспортных потоков.
7. Модель стабильной динамики (Нестерова-де Пальмы) и эволюционное обобщение интерпретации Л.В. Канторовича двойственных множителей.
8. Концепция конкурентного равновесия (случай седловой точки в выпукло-вогнутой задаче) и ее эволюционные аспекты.
9. Многостадийные модели равновесного распределения транспортных потоков.
10. Эффективные, содержательно интерпретируемые, численные методы поиска транспортно-экономических равновесий. Метод потенциалов Канторовича-Гавурина. Метод зеркального спуска и метод двойственных усреднений Ю.Е. Нестерова.
11. Механизм Викри-Кларка-Гроуса и платные дороги. Идеи метаигрового синтеза.
12. Случайные графы, степенные законы, модели роста сетей. Неравенства Талагранна, Азума-Хеффдинга и теоремы Райгородского-Гречникова и др.
13. Процессы с запретами. Эргодические свойства транспортного потока. Теорема М.Л. Бланка.
14. Задачи на графах. Кратчайший путь. Максимальный поток. Транспортная задача. Некоторые релаксации.
15. Задача Штейнера. Задача Монжа. Подход Л.В. Канторовича.
16. Интеллектуальный анализ транспортных данных.

## Примеры экзаменационных билетов

### Билет 1

1. Модель стабильной динамики (Нестерова-де Пальмы) и эволюционное обобщение интерпретации Л.В. Канторовича двойственных множителей.
2. Концепция конкурентного равновесия (случай седловой точки в выпукло-вогнутой задаче) и ее эволюционные аспекты.
3. Многостадийные модели равновесного распределения транспортных потоков.

### Билет 2

1. Эффективные, содержательно интерпретируемые, численные методы поиска транспортно-экономических равновесий. Метод потенциалов Канторовича-Гавурина.
2. Метод зеркального спуска и метод двойственных усреднений Ю.Е. Нестерова.  
Связь с онлайн-оптимизацией и с концепцией ограниченной рациональности.
3. Механизм Викри-Кларка-Гроуса и платные дороги. Идеи метаигрового синтеза.

## Критерии оценивания

### Оценка

отлично 10: оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений

отлично 9: оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений

отлично 8: оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, и правильное обоснование принятых решений

хорошо 7: оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

хорошо 6: оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

хорошо 5: оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал, и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

удовлетворительно 4: оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

удовлетворительно 3: оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет фрагментарно основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

неудовлетворительно 2: оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач

неудовлетворительно 1: оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.