

**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**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Модели и динамика сетевых систем
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математических основ управления
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.Э. Парсегов, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры математических основ управления 03.04.2024

Аннотация

Курс направлен на формирование и развитие компетенций обучающихся в области динамики многоагентных моделей и сетевых динамических систем, связанных с ними вопросов теории графов и линейной алгебры, а также применения указанных тем для решения прикладных задач. В ходе освоения дисциплины обучающиеся осваивают язык и понятия теории сетевых динамических или многоагентных систем, описываемых дифференциальными и разностными уравнениями, а также принципы их построения и исследования. В курсе вводятся базовые понятия теории графов – типы связности графов, сильно связанные компоненты, циклы, матрицы Лапласа, спектры и рассматривается их связь с теорией неотрицательных матриц и марковскими цепями. Рассматриваются группы агентов, описываемых моделями первого порядка и алгоритмы достижения консенсуса, основанные на методе последовательных усреднений. Также даются примеры таких систем, возникающих в задачах моделирования социальных процессов, задачах управления группами мобильных агентов; приводится связь с задачами динамики электрических цепей. Для агентов-динамических систем с моделями второго порядка и выше рассматриваются задачи устойчивости и консенсуса, приводятся критерии в пространстве состояний и частотной области (критерий Поляка-Цыпкина).

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение студентами базисных понятий и результатов теории сетевых систем, что позволит студентам в дальнейшем работать в области динамики многоагентных моделей и сетевых динамических систем.

Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов и моделей) теории многоагентных моделей и сетевых динамических систем в физике, механике и теории управления;
- приобретение теоретических знаний и практических умений и навыков применения многоагентных моделей и сетевых динамических систем в физике, механике и теории управления;
- оказание консультативной помощи студентам в проведении собственных теоретических исследований в области многоагентных моделей и сетевых динамических систем в физике, механике и теории управления.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области информатики и вычислительной техники, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем
	ОПК-3.3 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания из различных областей науки (техники)
	ОПК-3.4 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-3 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера	ПК-3.1 Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания
	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы

информационных систем) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия теории многоагентных моделей и сетевых динамических систем;
- современные проблемы применения многоагентных моделей и сетевых динамических систем в физике, механике и теории управления;
- понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем в разделах, входящих в базовую часть теории многоагентных моделей и сетевых динамических систем.

уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач применения многоагентных моделей и сетевых динамических систем в физике, механике и теории управления;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач, возникающих в многоагентных моделях и сетевых динамических системах;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач применения многоагентных моделей и сетевых динамических систем в физике, механике и теории управления (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 применения многоагентных моделей и сетевых динамических систем в физике, механике и теории управления;
- 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	Многоагентные динамические системы.	5			10
2	Основные понятия теории графов, связь с матричным анализом.	5			10
3	Марковские цепи и случайные блуждания по графу, меры центральност.	5			10
4	Консенсусные алгоритмы и сетевые модели социального влияния.	5			10
5	Приложения к задачам управления группами мобильных агентов.	5			10
6	Синхронизация в сетях агентов с динамикой второго и высших порядков.	5			10
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Многоагентные динамические системы.

Понятие агента и многоагентной системы в различных областях знания. Математические модели в естественных науках: модели Висека, модели биологических формаций, модели популяций. Многоагентные системы в инженерных науках: электрические цепи (на примере каскадно соединенных RC-цепочек) и формации мобильных агентов.

2. Основные понятия теории графов, связь с матричным анализом.

Граф связей многоагентной системы.

Ориентированные и неориентированные графы.

Основные понятия.

Пути, маршруты и циклы.

Связность, компоненты связности, остовные деревья и леса в графе. Матрицы, ассоциированные с графом: инцидентности, смежности и Кирхгофа-Лапласа.

Взвешенные графы.

Ядро матрицы Лапласа, лесная размерность, расположение спектра.

Число Фидлера. Неотрицательные матрицы и их графы.

Теорема Перрона-Фробениуса.

Теорема Агаева-Чеботарева.

Масштабируемые графы и их свойства.

3. Марковские цепи и случайные блуждания по графу, меры центральност.

Марковская цепь как случайное блуждание на графе.

Свойства цепи в терминах графа.

Стационарное распределение марковской цепи (собственный вектор Перрона-Фробениуса) как мера центральности.

4. Консенсусные алгоритмы и сетевые модели социального влияния.

Модель Френча-Харари-ДеГроота и модель Абельсона.

Критерии консенсуса и сходимости.

Вычисление консенсусного значения.

Влиятельность социального агента по Френчу, интерпретация меры центральности, задаваемой собственным вектором.

Модели Фридкина-Джонсена и Тейлора.

Нелинейные модели с ограниченным доверием.

5. Приложения к задачам управления группами мобильных агентов.

Задача циклического преследования на прямой и на плоскости. Циркулянтная матрица.

Матрица поворота.

Задача равноудаленного расположения на отрезке.

Локализация спектра для специальных графов (иерархические формации).

6. Синхронизация в сетях агентов с динамикой второго и высших порядков.

Критерии устойчивости и синхронизации сети однотипных агентов в пространстве состояний.

Алгоритмы синхронизации с измерением абсолютной и относительной скорости (задача циклического преследования). Критерий Поляка-Цыпкина: условие устойчивости и консенсуса в частотной области.

Области устойчивости и синхронизации, обобщенная частотная переменная.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система), имеющими выход в сеть «Интернет».

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Bullo F. Lectures on Network Systems. – Santa Barbara: Kindle Direct Publishing. – 2022. – 346 p. [url{https://fbullo.github.io/lms/}](https://fbullo.github.io/lms/)
2. Амелин Н.О. Проблемы сетевого управления / Под ред. А.Л. Фрадкова. М. – Ижевск: ИКС, 2015. – 392 с.
3. Чеботарев П.Ю., Агаев Р.П. Матричная теорема о лесах и лапласовские матрицы орграфов. – Saarbrücken: LAP, 2011. – 276 p.
4. Новиков Д.А. Теория управления. Дополнительные главы. / Ак (Ред.). – Москва: URSS, 2019. – 552 с.

Дополнительная литература

1. Newman M. The structure and function of complex networks // SIAM Review, 2003. – Vol 45, Iss 2. – P. 167-256.
 \url{https://arxiv.org/abs/cond-mat/0303516}
2. Li Z., Duan Z. Cooperative Control of Multi-Agent Systems: A Consensus Region Approach, Boca Raton, FL. – USA: CRC, 2017. – 262 p.
3. Ren W., Cao Y.C. Distributed Coordination of Multi-Agent Networks. – London, U.K.: Springer, 2011. – 310 p.

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

www.mou.mipt.ru

http://aivanoff.blogspot.com/2007/12/blog-post_18.html

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

В процессе преподавания дисциплин используются следующие методы, средства и обновляемое при необходимости программное обеспечение информационных технологий www.mou.mipt.ru: e-mail преподавателя; электронные учебно-методические материалы для обеспечения самостоятельной работы студентов; список сайтов в сети «Интернет» для поиска научно-технической информации по разделам дисциплины www.mou.mipt.ru и http://aivanoff.blogspot.com/2007/12/blog-post_18.html; пакеты прикладных программ, например: pytorch.

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

Студент, изучающий дисциплину, 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.

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;
- выполнение домашних работ, для осознания связей между теорией и практическими навыками.

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

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математических основ управления
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: С.Э. Парсегов, канд. физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области информатики и вычислительной техники, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем
	ОПК-3.3 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания из различных областей науки (техники)
	ОПК-3.4 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-3 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.1 Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания
	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы
	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Модели и динамика сетевых систем» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия теории многоагентных моделей и сетевых динамических систем;
- современные проблемы применения многоагентных моделей и сетевых динамических систем в физике, механике и теории управления;
- понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем в разделах, входящих в базовую часть теории многоагентных моделей и сетевых динамических систем.

уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач применения многоагентных моделей и сетевых динамических систем в физике, механике и теории управления;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач, возникающих в многоагентных моделях и сетевых динамических системах;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач применения многоагентных моделей и сетевых динамических систем в физике, механике и теории управления (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 применения многоагентных моделей и сетевых динамических систем в физике, механике и теории управления;
- 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 по теме прошлого занятия.

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

1. Многоагентные динамические системы.
2. Понятие агента и многоагентной системы в различных областях знания.
3. Математические модели в естественных науках: модели Висека, модели биологических формаций, модели популяций.
4. Многоагентные системы в инженерных науках: электрические цепи (на примере каскадно соединенных RC-цепочек) и формации мобильных агентов.
5. Основные понятия теории графов, связь с матричным анализом.
6. Граф связей многоагентной системы.
7. Ориентированные и неориентированные графы.
8. Основные понятия.
9. Пути, маршруты и циклы.
10. Связность, компоненты связности, остовные деревья и леса в графе.
11. Матрицы, ассоциированные с графом: инцидентности, смежности и Кирхгофа-Лапласа.
12. Взвешенные графы.
13. Ядро матрицы Лапласа, лесная размерность, расположение спектра.
14. Число Фидлера. Неотрицательные матрицы и их графы.
15. Теорема Перрона-Фробениуса.
16. Теорема Агаева-Чеботарева.
17. Масштабируемые графы и их свойства.
18. Марковские цепи и случайные блуждания по графу, меры центральности.
19. Марковская цепь как случайное блуждание на графе.
20. Свойства цепи в терминах графа.
21. Стационарное распределение марковской цепи (собственный вектор Перрона-Фробениуса) как мера центральности.

22. Консенсусные алгоритмы и сетевые модели социального влияния.
23. Модель Френча-Харари-ДеГроота и модель Абельсона.
24. Критерии консенсуса и сходимости.
25. Вычисление консенсусного значения.
26. Влиятельность социального агента по Френчу, интерпретация меры центральности, задаваемой собственным вектором.
27. Модели Фридкина-Джонсена и Тейлора.
28. Нелинейные модели с ограниченным доверием.
29. Приложения к задачам управления группами мобильных агентов.
30. Задача циклического преследования на прямой и на плоскости.
31. Циркулянтная матрица.
32. Матрица поворота.
33. Задача равноудаленного расположения на отрезке.
34. Локализация спектра для специальных графов (иерархические формации).
35. Синхронизация в сетях агентов с динамикой второго и высших порядков.
36. Критерии устойчивости и синхронизации сети однотипных агентов в пространстве состояний.
37. Алгоритмы синхронизации с измерением абсолютной и относительной скорости (задача циклического преследования).
38. Критерий Поляка-Цыпкина: условие устойчивости и консенсуса в частотной области.
39. Области устойчивости и синхронизации, обобщенная частотная переменная.

Примеры билетов:

Билет №1

1. Агент в многоагентной системе и его признаки. Устройство многоагентной системы с моделями агентов в виде дифференциальных или разностных уравнений. Модели биологических формаций и популяций, их особенности. Положение равновесия сетевой системы – электрической цепи из каскадно соединенных идентичных RC-фильтров, на входе и выходе которой напряжения U_1 и U_2 , соответственно.
2. Матрицы Лапласа ориентированных и неориентированных графов. Число Фидлера. Сходимость консенсусных алгоритмов с агентами первого порядка. Связь непрерывной модели консенсуса с дискретной, особенности моделей.

Билет №2

1. Задача циклического преследования с моделями агентов первого порядка. Циркулянтная матрица и ее свойства. Задача циклического преследования с агентами второго порядка и измеряемой абсолютной/относительной скоростью.
2. Ядро матрицы Лапласа. Теорема Агаева-Чеботарева и ее следствие в задаче достижения консенсуса для любых начальных условий. Эквивалентность условий достижимости консенсуса для непрерывной модели с агентами первого порядка.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов – выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов – 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.

Оценка отлично 8 баллов – выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов – выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов – 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.

Оценка хорошо 5 баллов – выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла – выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла – выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла – выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл – 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 приёма дифференцированного зачёта (он проводится в письменной форме) при подготовке билета можно пользоваться любыми материалами. При непосредственном ответе ничем пользоваться нельзя. Необходимо обратить внимание на теоретический минимум. Незнание ответов на вопросы из теоретического минимума автоматически влечёт неудовлетворительную оценку.