

**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:	Математическое моделирование транспортных потоков
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) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 1

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

Программа обсуждена на заседании кафедры математических основ управления 21.02.2025

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
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-1 Владеет основами фундаментальных наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания и новые научные принципы и методы исследований в области информатики и вычислительной техники

ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области информатики и вычислительной техники	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области информатики и вычислительной техники и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области математики, естественных наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знание информационно-коммуникационных технологий для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
	ОПК-4.4 Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями
ОПК-5 Способен и готов к профессиональному росту и руководству коллективом в области информатики и вычислительной техники, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
	ОПК-5.4 Способен осуществлять эффективное управление разработкой программных средств и проектов
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

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:

- 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 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.	5	5		9
2	Равновесные модели транспортных потоков.	5	5		9
3	Стохастические модели транспортных потоков.	6	6		9
4	Алгоритмические аспекты моделирования транспортных потоков.	7	7		9
5	Статистические аспекты моделирования транспортных потоков.	7	7		9
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

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

1. Модели равновесного распределения транспортных потоков в больших сетях, учебное пособие/А. В. Гасников, Е. В. Гасников,-Москва, МФТИ, 2020

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
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)

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) - Экзамен	
Разработчик:	А.В. Гасников, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области информатики и вычислительной техники	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания и новые научные принципы и методы исследований в области информатики и вычислительной техники
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области информатики и вычислительной техники и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области математики, естественных наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знание информационно-коммуникационных технологий для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
	ОПК-4.4 Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями
ОПК-5 Способен и готов к профессиональному росту и руководству коллективом в области информатики и вычислительной техники, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
	ОПК-5.4 Способен осуществлять эффективное управление разработкой программных средств и проектов

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 «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:

- 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 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

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

- 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) - выставляется студенту, показавшему свободное оперирование знаниями учебной программы дисциплины, выполнение заданий творческого характера;
- отлично (8) - выставляется студенту, показавшему владение программным учебным материалом с наличием несущественных ошибок в действиях, самостоятельно исправляемых учащимся;
- хорошо (7) - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и, по существу, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускается в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- хорошо (6) - выставляется студенту если он осознает воспроизведение программного учебного материала, в том числе и различной степени сложности, с несущественными ошибками, затруднения в применении отдельных навыков;
- хорошо (5) - выставляется студенту если теоретическое содержание освоено не полностью, некоторые практические навыки сформированы недостаточно, в некоторых случаях были допущены ошибки;
- 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) - выставляется студенту в случае большого количества недочетов и неправильных ответов, а также пассивной работе в ходе занятий, многие учебные задания не выполнены;
- 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) - выставляется студенту, который не освоил теоретическое и практическое содержание курса, все выполненные учебные задания содержат грубые ошибки.

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.