
УТВЕРЖДЕНА

Решением Ученого совета
АНО ВО «Центральный университет»
«25» мая 2026 г.
Протокол № 2

**Рабочая программа дисциплины (модуля)
«Распределенные системы»**

Направление подготовки: 02.04.01 Математика и компьютерные науки

Направленность (профиль) подготовки: Программная инженерия

Квалификация (степень) выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Срок освоения программы: 2 года

Год набора: 2026

**Москва
2026**

Содержание

1. Краткая характеристика дисциплины (модуля)	3
2. Перечень планируемых результатов обучения.....	5
3. Тематический план.....	7
4. Содержание дисциплины (модуля).....	7
5. Учебно-методическое обеспечение	9
6. Материально-техническое обеспечение	9
7. Методические и оценочные материалы	11

1. Краткая характеристика дисциплины (модуля)

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Распределенные системы» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – магистратура по направлению 02.04.01 Математика и компьютерные науки, профиль Программная инженерия, утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 810 от 23.08.2017 года.

Изучение дисциплины (модуля) «Распределенные системы» позволяет сформировать целостное представление о фундаментальных ограничениях и компромиссах в распределённых средах, научиться проектировать архитектуры, устойчивые к сбоям и сетевым разделением, обоснованно выбирать алгоритмы согласования и репликации, а также реализовывать и использовать распределённые системы, способные эффективно обрабатывать данные с требуемыми гарантиями согласованности и надёжности.

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина (модуль) включена в учебный план по программе подготовки магистратуры по направлению 02.04.01 Математика и компьютерные науки, профиль Программная инженерия и входит в обязательную часть Блока 1.

Дисциплина (модуль) доступна к изучению на 2 курсе в 4 семестре.

Цель изучения дисциплины (модуля): формирование у обучающихся глубокого понимания принципов функционирования распределённых систем, включая механизмы согласованности, отказоустойчивости и масштабируемости, а также развитие способности проектировать и реализовывать надёжные системы в условиях неопределённости и частичных сбоев.

Задачи изучения дисциплины (модуля):

- изучить основные модели согласованности, алгоритмы консенсуса и репликации, лежащие в основе современных распределённых систем;
- освоить принципы организации транзакций и уровней изоляции в распределённой среде;
- научиться реализовывать классические алгоритмы и анализировать их поведение при различных типах отказов;
- развить умение выбирать подходящие технологии и архитектурные решения с учётом требований к доступности, согласованности и устойчивости;
- овладеть практиками работы с распределёнными вычислениями и хранилищами (MapReduce, DFS) для обработки больших объёмов данных.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен:

знать:

- основные понятия и проблемы теории распределенных систем, модели согласованности;
- алгоритмы репликации и консенсуса в распределенных системах;
- понятия транзакции, уровни изоляции транзакций и способы их реализации;
- виды отказов узлов, понятие византийских отказов.

уметь:

- реализовывать на любом языке программирования классические алгоритмы репликации и консенсуса в распределенных системах;
- выбирать готовые реализации распределенных систем в зависимости от необходимых требований к согласованности и устойчивости к отказам;
- использовать MapReduce и распределенные файловые системы для работы с большими данными.

владеть:

- навыком проектирования архитектуры распределенной системы с учетом требований к согласованности данных и устойчивости к отказам;

— навыком отличать достижимые требования от недостижимых при проектировании распределенных систем.

2. Перечень планируемых результатов обучения

Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) при проведении учебных занятий в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками Университета и в форме самостоятельной работы обучающихся:

Компетенция	Содержание компетенции	Индикатор компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)
ПК-3.	Способен решать задачи профессиональной деятельности, формулировать результат, увидеть следствия полученного результата	ПК-3.1.	Знает основные принципы и методы решения задач профессиональной деятельности, а также способы формулирования и представления результатов, включая анализ последствий и их значимость в контексте проекта
		ПК-3.2.	Умеет применять математические и компьютерные методы для решения конкретных задач, формулировать четкие и обоснованные результаты, а также анализировать их последствия для дальнейших действий и решений
		ПК-3.3.	Имеет практический опыт в решении профессиональных задач, включая участие в проектах, где были получены результаты и проанализированы их следствия, что способствовало принятию обоснованных решений
ПК-6.	Способен разрабатывать программное обеспечение для решения прикладных задач в сфере профессиональной деятельности	ПК-6.1.	Знает основные языки программирования, методы разработки программного обеспечения, а также принципы проектирования и архитектуры программных систем, применяемых в конкретной предметной области
		ПК-6.2.	Умеет анализировать прикладные задачи, разрабатывать алгоритмы и реализовывать их в виде программного обеспечения, используя современные инструменты и технологии, а также проводить тестирование и отладку созданных решений
		ПК-6.3.	Имеет практический опыт разработки программного обеспечения в рамках реальных проектов, включая

			участие в командах, где были успешно реализованы решения для конкретных прикладных задач в сфере профессиональной деятельности
--	--	--	--

3. Тематический план

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Трудоемкость, академические часы				ТКУ (текущий контроль успеваемости)
		Очная форма				
		Аудиторная работа		Контроль	Самостояте льная работа	
		Лекции	Семинары (практичес кие занятия)			
1	Введение. Основные понятия и проблемы теории распределенных систем	5	5		20	Домашние задания
2	Репликация и секционирование	5	5		20	Домашние задания
3	Консенсус в распределенных системах	6	6		23	Домашние задания
4	Транзакции	4	4		21	Домашние задания
5	Потоковая и пакетная обработка данных	6	6		23	Домашние задания
6	Византийские отказы	4	4		21	Домашние задания
	Экзамен			2		
Итого:		30	30	2	128	
Объем дисциплины (модуля) (в ак. ч.)		190				
Объем дисциплины (модуля) (в зач. ед.)		5				

4. Содержание дисциплины (модуля)

№п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Содержание дисциплины (модуля) по темам
1	Введение. Основные понятия и проблемы теории распределенных систем	Модели согласованности. Синхронные и асинхронные модели. Виды отказов Проблема синхронизации часов. Алгоритмы синхронизации (Cristian's, Berkeley, NTP)
2	Репликация и секционирование	Алгоритмы репликации: с одним ведущим, несколькими, без ведущего Задержки репликации. Кворумы. Репликация в реальных системах
3	Консенсус в распределенных системах	Понятие консенсуса. Теорема FLP. Линеаризуемость и причинная согласованность Алгоритмы Paxos и Raft. Atomic Broadcast Применение алгоритмов консенсуса в продакшене (Zookeeper, etcd, Kafka controller)
4	Транзакции	Уровни изоляции. 2PL и Snapshot Isolation Распределённые транзакции. 2PC, 3PC, Saga. Реализация в реальных системах
5	Потоковая и пакетная обработка данных	MapReduce. Распределённые вычисления. Hadoop и экосистема Потоковые системы (Apache Kafka, Flink, Spark Streaming). Примеры использования

		Очереди сообщений. Брокеры (Kafka, RabbitMQ, Pulsar). Гарантии доставки Дизайн очередей в системах. Сравнение систем, паттерны применения
6	Византийские отказы	Проблема византийских генералов. Алгоритмы BFT (PBFT и др.) Реализация BFT в реальных системах (blockchain, Tendermint, ByzCoin и др.)

5. Учебно-методическое обеспечение

Университет располагает полным набором лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, включая продукты отечественного производства.

Каждый студент в течение всего периода обучения получает индивидуальный неограниченный доступ к электронно-библиотечной системе и электронной информационно-образовательной среде университета. Эти системы предоставляют возможность доступа к ресурсам из любой точки, где есть подключение к сети Интернет, как на территории университета, так и за его пределами.

Студентам обеспечен удаленный доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

Основная литература:

1. Бабичев, С. Л. Распределённые системы : учебник для вузов / С. Л. Бабичев, К. А. Коньков. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 507 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-11380-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт. — URL: <https://urait.ru/bcode/566315>.

2. Нечаев, А. М. Компьютерные сети : учебник и практикум для вузов / под науч. ред. А. М. Нечаева, А. Е. Трубина, А. Ю. Анисимова. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 515 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-21452-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт. — URL: <https://urait.ru/bcode/572239>.

Дополнительная литература:

1. Малявко, А. А. Параллельное программирование : учебное пособие для вузов / А. А. Малявко. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 135 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-14116-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт. — URL: <https://urait.ru/bcode/538878>.

6. Материально-техническое обеспечение

Университет располагает материально-технической базой, соответствующей действующим противопожарным правилам и нормам и обеспечивающей проведение всех видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки, практической и научно-исследовательской работ обучающихся, предусмотренных учебным планом.

Помещения, которые представляют собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского (практического) типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Изучение дисциплины (модуля) обеспечивается в учебных аудиториях, оснащенных:

- столами и стульями;
- компьютерной техникой;
- механическими калькуляторами;
- специализированным оборудованием, включая демонстрационное оборудование.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, в том числе приспособленные для использования инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья, оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Обучающимся предоставляется доступ (в том числе удаленный) к ресурсам информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», электронным ресурсам (в том числе электронным библиотечным системам, современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам):

№	Наименование портала (издания, курса, документа)	Ссылка
1.	Научная электронная библиотека elibrary.ru библиотека	https://elibrary.ru/defaultx.asp
2.	База данных для IT-специалистов	https://habr.com
3.	База данных ScienceDirect	https://www.sciencedirect.com
4.	Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации	https://minobrnauki.gov.ru/
5.	Федеральный портал «Российское образование»	https://www.edu.ru/
6.	Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"	http://window.edu.ru/
7.	Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов	http://school-collection.edu.ru/
8.	Федеральный центр информационно - образовательных ресурсов	http://fcior.edu.ru/

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), в том числе комплект лицензионного программного обеспечения, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Наименование ПО	Производство	Лицензионное / свободно распространяемое
Операционные системы:		
Microsoft Imagine (Windows Client, Server)	зарубежное	лицензионное
Браузеры:		
Яндекс.Браузер	отечественное	свободно распространяемое
Google Chrome	зарубежное	свободно распространяемое
Офисные приложения:		
Microsoft Imagine (Visio, OneNote)	зарубежное	лицензионное
TeXstudio	зарубежное	свободно распространяемое
Adobe Acrobat Reader	зарубежное	свободно распространяемое
Программное обеспечение для планирования и учета времени:		
Toggle app	зарубежное	свободно распространяемое
Системы управления проектами:		
Microsoft Imagine (Project)	зарубежное	лицензионное
Распределенные системы :		
Microsoft Imagine (SQL Server)	зарубежное	лицензионное
Системы резервного копирования (backup):		
Acronis Backup Advanced for HyperV	зарубежное	лицензионное
Справочно-правовые системы:		
КонсультантПлюс: справочно-правовая система	отечественное	лицензионное
Средства антивирусной защиты:		
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса Стандартный Russian Edition	отечественное	лицензионное
Среды разработки:		

Visual Studio Code	зарубежное	свободно распространяемое
Bash (Unix shell)	зарубежное	свободно распространяемое
Anaconda	зарубежное	свободно распространяемое
Robotic Operating System	зарубежное	свободно распространяемое
CopelliaSim	зарубежное	свободно распространяемое
Google Colaboratory	зарубежное	свободно распространяемое
Пакеты программных средств и библиотек:		
AutoPsy	зарубежное	свободно распространяемое
Interactive Disassembler (IDA)	зарубежное	свободно распространяемое
Системы управления библиографической информацией:		
Zotero	зарубежное	свободно распространяемое
Сервисы и службы:		
Bind	зарубежное	свободно распространяемое
Docker	зарубежное	свободно распространяемое

7. Методические и оценочные материалы

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

В процессе изучения дисциплины (модуля) «Распределенные системы» в рамках текущего контроля успеваемости используются такие виды учебной работы, как лекции, семинары, домашние задания, а также различные виды самостоятельной работы обучающихся по заданию преподавателя, направленные на развитие навыков профессиональной лексики, закрепление практических профессиональных компетенций, поощрение инициатив.

Лекция – систематическое, последовательное, монологическое изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера.

В процессе лекций рекомендуется вести конспект лекций: кратко и схематично фиксировать основные идеи, выводы и обобщения лекции; выделять важные мысли, ключевые слова и термины. Необходимо отметить вопросы или материалы, которые вызывают затруднения, и попытаться найти ответы в рекомендованной литературе. Если разобраться в материале не удастся, следует сформулировать вопрос и задать его преподавателю на консультации или во время семинарского (практического) занятия.

Семинар – это форма учебной деятельности, проводимая в учебном заведении под руководством преподавателя, где студенты активно участвуют в обсуждениях, практических заданиях и других формах взаимодействия.

Для успешной подготовки к семинару рекомендуется заранее ознакомиться с темой занятия и основными материалами, чтобы иметь возможность активно участвовать в обсуждении. Также полезно подготовить вопросы и идеи для обсуждения, что поможет глубже понять материал и продемонстрировать заинтересованность.

Домашнее задание – набор задач по темам недели.

При работе над домашними заданиями важно внимательно ознакомиться с требованиями и сроками выполнения. Рекомендуется разбивать задания на этапы, чтобы избежать перегрузки и лучше усвоить материал, использовать различные источники информации, включая учебники и онлайн-ресурсы, для более глубокого понимания темы.

Самостоятельная работа – работа студентов, направленная на углубленное изучение отдельных тем и вопросов учебной дисциплины (модуля).

В процессе самостоятельной работы студенты взаимодействуют с рекомендованными материалами при минимальном участии преподавателя. Задачи студента включают работу с конспектами лекций (обработка текста), повторное изучение учебных материалов планов

и тезисов ответов, изучение дополнительных тем, выполнение учебно-исследовательских заданий и другое.

Система оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Критерии получения уровня и оценивания сформированности компетенций по дисциплине (модулю) «Распределенные системы»

Оценивание уровня учебных достижений обучающихся по дисциплине (модулю) осуществляется в виде текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) осуществляется в форме *экзамена*, при этом проводится оценка компетенций, сформированных по дисциплине.

Для оценивания текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации используется десятибалльная шкала оценивания, которая соотносится с традиционной пятибалльной шкалой следующим образом, если иное не указано в силлабусе дисциплины:

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
10	Отлично	Студент полностью владеет знаниями, изложенными в рабочей программе, и глубоко осмысляет дисциплину (модуль). Он самостоятельно и логически последовательно отвечает на все вопросы, акцентируя внимание на наиболее важном. Умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделяя ключевые моменты и устанавливая причинно-следственные связи. Четко формулирует ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты дисциплины (модуля) с практическими задачами.
9	Отлично	
8	Отлично	
7	Хорошо	Студент обладает знаниями предмета почти в полном объеме рабочей программы и самостоятельно, логически последовательно и всесторонне отвечает на все вопросы, акцентируя внимание на наиболее значимых моментах. Он умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделяя его ключевые аспекты и устанавливая причинно-следственные связи. Формулирует свои ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные ситуационные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты предмета с практическими задачами.
6	Хорошо	
5	Удовлетворительно	Студент обладает базовыми знаниями по дисциплине (модулю), но испытывает трудности при самостоятельных ответах и использует неточные формулировки. В ходе ответов он допускает ошибки, касающиеся сути вопросов. Студент способен решать только самые простые задачи и владеет лишь минимальным набором методов исследования.
4	Удовлетворительно	
3	Не сдан	Студент не овладел обязательным минимумом знаний по

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
2	Не сдан	предмету и не может ответить на вопросы, даже если преподаватель задает дополнительные наводящие вопросы.
1	Не сдан	

Дисциплина (модуль) «Распределенные системы» оценивается следующим образом:

Активность	Вес	Количество	Описание
Домашние задания	60%	5	Набор задач по темам недели
Экзамен	40%	1	Письменная или устная работа над заданием, направленным на проверку полученных знаний и навыков по дисциплине (модулю)

Формула расчёта итоговой оценки по дисциплине (модулю) «Распределенные системы»: $0,6 \times \text{среднее за домашние задания} + 0,4 \times \text{экзамен}$.

Текущий контроль успеваемости обучающихся по дисциплине (модулю)

Примерные домашние задания

Домашнее задание 1

1. Реализуйте симуляцию асинхронной сети с тремя узлами, моделируя задержки и частичные отказы соединений.
2. Напишите программу, имитирующую алгоритм синхронизации времени по методу Кристиана: один сервер времени, несколько клиентов.
3. Оцените погрешность синхронизации при различных задержках сети.
4. Сравните поведение системы при синхронной и асинхронной модели передачи сообщений.
5. Опишите, как виды отказов (crash, omission, network partition) влияют на согласованность данных.

Домашнее задание 2

1. Реализуйте простой алгоритм репликации с одним ведущим (leader-based replication) на языке по выбору.
2. Добавьте поддержку кворумного чтения и записи (quorum reads/writes).
3. Смоделируйте ситуацию, когда реплика отстаёт, и продемонстрируйте проблему устаревшего чтения (stale read).
4. Реализуйте механизм проверки согласованности реплик.
5. Проанализируйте, как выбор стратегии репликации влияет на доступность и согласованность (связь с CAP).

Домашнее задание 3

1. Реализуйте упрощённую версию алгоритма Raft для системы из 3 узлов: выбор лидера, лог репликации, обработка запросов.
2. Протестируйте отказоустойчивость: отключите лидер, убедитесь в автоматическом выборе нового.
3. Реализуйте распределённую транзакцию по шаблону Saga: разбейте операцию на компенсируемые шаги.
4. Запустите пакетную обработку данных с помощью модели MapReduce (можно использовать локальную реализацию или Hadoop в Docker).
5. Настройте топик в Kafka с репликацией и продемонстрируйте доставку сообщений с гарантией "at least once".

Задания для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

№ п/п	Задание	Ответ	Компетенция
1.	Какая модель согласованности гарантирует, что операции выглядят атомарными и мгновенно применяются?	линеаризуемость	ПК-3
2.	Какой протокол используется для синхронизации времени в распределённых системах?	NTP	ПК-6
3.	Какой алгоритм консенсуса применяется в etcd и CockroachDB?	Raft	ПК-3
4.	Какой уровень изоляции транзакций исключает грязное чтение и неповторяющееся чтение?	read committed	ПК-6
5.	Какой метод репликации предполагает, что все изменения проходят через один узел?	с одним ведущим	ПК-3
6.	Какое минимальное количество узлов требуется для достижения консенсуса при 2 византийских отказах?	5	ПК-6
7.	Какая гарантия доставки сообщений допускает повторную доставку при сбоях?	at least once	ПК-3
8.	Какой алгоритм решает проблему византийских генералов при до 1/3 сбойных узлов?	PBFT	ПК-6
9.	Какой протокол распределённых транзакций включает фазу подготовки и фазу коммита?	2PC	ПК-3
10.	Какой паттерн используется для управления долгими транзакциями через компенсирующие операции?	Saga	ПК-6
11.	Какая модель выполнения не предполагает ограничений на задержки сообщений и отсутствует глобальное время?	асинхронная	ПК-3
12.	Какой тип отказа характеризуется отправкой противоречивых сообщений разным узлам?	византийский	ПК-6
13.	Какая система используется для координации распределённых процессов с помощью консенсуса?	Zookeeper	ПК-3
14.	Какой фреймворк поддерживает обработку потоковых данных с учётом времени событий и окон?	Flink	ПК-6
15.	Сколько фаз включает протокол трёхфазного коммита?	3	ПК-3
16.	Какие два основных этапа включает модель MapReduce?	map, reduce	ПК-6
17.	Какой механизм в Kafka предотвращает потерю сообщений при перезапуске потребителя?	ручной коммит оффсета	ПК-3

18.	Какой уровень изоляции обеспечивает видимость согласованного снимка базы данных?	snapshot isolation	ПК-6
19.	Какой протокол обеспечивает атомарную доставку сообщений во всех узлах системы?	atomic broadcast	ПК-3
20.	Какая блокчейн-платформа использует BFT для достижения консенсуса без майнинга?	Tendermint	ПК-6