ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**УТВЕРЖДЕНА**

Решением Ученого совета
АНО ВО «Центральный университет»
«07» марта 2024 г.
Протокол № 1

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

**Направление подготовки:** *02.03.01 Математика и компьютерные науки*

**Направленность (профиль) подготовки:** *Разработка*

**Квалификация (степень) выпускника:** *бакалавр*

**Форма обучения:** *очная*

**Срок освоения программы:** *4 года*

**Год набора:** *2024*

**Москва**
**2024**

Электронный документ

**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** ..... 8
6. **Материально-техническое обеспечение** ..... 8
7. **Методические и оценочные материалы** ..... 10

## 1. Краткая характеристика дисциплины (модуля)

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Распределенные системы» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат по направлению 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», профиль «Разработка», утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 807 от 23.08.2017 года.

Изучение дисциплины «Распределённые системы» позволяет понять принципы построения масштабируемых, надёжных и отказоустойчивых вычислительных сред, что является ключевым требованием современных ИТ-продуктов и сервисов.

**Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Настоящая дисциплина (модуль) включена в учебный план по программе подготовки бакалавриата по направлению 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», профиль «Разработка» и входит в вариативную часть Блока 1, формируемую участниками образовательных отношений, как дисциплина по выбору.

Дисциплина (модуль) является доступна для изучения на 3, 4 курсе в 5 ил 7 семестре на выбор после успешного освоения дисциплин (модулей): «Архитектура компьютера и операционные системы. Часть 1», «Многопоточная синхронизация», «Алгоритмы и структуры данных. Часть 2».

**Цель изучения дисциплины (модуля):** подготовить специалистов, способных разрабатывать, оптимизировать и поддерживать распределённые архитектуры и сервисы, используя современные технологии и методологии.

**Задачи изучения дисциплины (модуля)**:

— анализировать фундаментальные концепции распределённых вычислений (кластеризация, репликация, согласованность данных);

— изучать и сравнивать архитектурные стили (client-server, peer-to-peer, микросервисы, сервис-ориентированная архитектура);

— проектировать системы с учётом требований к масштабируемости, надёжности и безопасности;

— осваивать протоколы взаимодействия и модели согласования (REST, gRPC, RPC, CAP-теорема, консенсус-алгоритмы);

— внедрять механизмы распределённого кеширования, балансировки нагрузки и отказоустойчивости;

— реализовывать и оценивать стратегии мониторинга, логирования и диагностики в распределённых средах;

— применять технологии оркестрации и контейнеризации (Kubernetes, Docker Swarm) для управления сервисами;

— разрабатывать и тестировать распределённые приложения, используя инструменты автоматизации и CI/CD.

**В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен:**

***знать:***

— модели распределённых систем и типы отказов;

— проблему глобального времени, роль протоколов синхронизации времени;

— алгоритм снятия распределённых снимков состояния системы без глобальной остановки;

— модели согласованности;

— CAP-теорему;

— стратегии репликации;

— алгоритмы консенсуса на концептуальном уровне;

— механизмы обнаружения отказов;

— подходы к согласованию без координатора;

***уметь:***

— применять модели отказов и сетевые модели при анализе поведения распределённой системы;

— формально описывать и сравнивать гарантии согласованности для конкретных сценариев;

— анализировать компромиссы при выборе между согласованностью, доступностью и устойчивостью к разделению;

— сравнивать стратегии репликации по гарантиям согласованности, доступности и задержке;

— проектировать простые бесконфликтные реплицируемые типы данных и обосновывать применимость подходов без координатора;

— разбирать архитектурные решения реальных систем через изученные концепции;

***владеть:***

— навыками формального рассуждения о корректности и безопасности распределённых протоколов;

— методами сравнительной оценки алгоритмов репликации и консенсуса;

— подходами к проектированию отказоустойчивых систем с учётом фундаментальных ограничений асинхронных сред;

— навыками анализа сценариев отказов в протоколах распределённой фиксации транзакций и определения условий блокировки системы;

— навыками реализации базовых алгоритмов репликации и консенсуса в виде работающего программного кода.

## 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) |
|---|---|---|---|
| УК-1. | Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач | УК-1.1. | Знает методы поиска и анализа информации в области разработки, основные принципы критической оценки источников информации и их релевантности |
| | | УК-1.2. | Умеет критически оценивать источники информации и синтезировать данные из различных источников для решения задач, применять системный подход к анализу и решению комплексных проблем |
| | | УК-1.3. | Имеет практический опыт работы с современными инструментами и технологиями для обработки информации, формулировании и структурировании задач на основе полученной информации |
| УК-2. | Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений | УК-2.1. | Знает действующие правовые нормы, регулирующие деятельность в области решения задач, основные методы и подходы к определению круга задач |
| | | УК-2.2. | Умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения задач, учитывая имеющиеся ресурсы и ограничения |
| | | УК-2.3. | Имеет практический опыт применения знаний о правовых нормах и ресурсах в реальных ситуациях, разработки и реализации решений в соответствии с установленными ограничениями |
| ОПК-1. | Способен консультировать и использовать фундаментальные знания в области математического анализа, комплексного и функционального анализа алгебры, | ОПК-1.1. | Знает основные концепции и теории в области математического анализа и смежных дисциплин; методы и подходы, используемые в различных областях математики |
| | | ОПК-1.2. | Умеет применять математические методы для решения профессиональных задач |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | аналитической геометрии, дифференциальной геометрии и топологии, дифференциальных уравнений, дискретной математики и математической логики, теории вероятностей, математической статистики и случайных процессов, численных методов, теоретической механики в профессиональной деятельности | ОПК-1.3. | Имеет практический опыт разработки и реализация математических моделей в профессиональной деятельности |
| ПК-1. | Способен формулировать задачи с математической точностью, обосновывать утверждения строго и анализировать полученные результаты в области математики и компьютерных наук | ПК-1.1. | Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических наук, программирования и информационных технологий |
| | | ПК-1.2. | Умеет находить, формулировать и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности в математике и информатике |
| | | ПК-1.3. | Имеет опыт работы с задачами в области математики и компьютерных наук, включая применение математических методов для решения практических задач |
| ПК-2. | Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности в области разработки, опираясь на информационную и библиографическую культуру, используя информационно-коммуникационные технологии и учитывая основные требования информационной безопасности | ПК-2.1. | Знает основные принципы информационной и библиографической культуры, а также правила и стандарты информационной безопасности |
| | | ПК-2.2. | Умеет эффективно использовать информационно-коммуникационные технологии для решения стандартных задач профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности |
| | | ПК-2.3. | Имеет практический опыт работы с информационными ресурсами и инструментами в рамках своей профессиональной деятельности в области разработки, соблюдая требования информационной безопасности |

## 3. Тематический план

| №п/п | Наименование раздела дисциплины (модуля) | Трудоемкость, академические часы | | | | ТКУ (текущий контроль успеваемости) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *Очная форма* | | | | |
| | | Аудиторная работа | | Контроль | Самостоятельная работа | |
| | | Лекции | Семинары (практические занятия) | | | |
| 1 | Модели и отказы | 4 | 4 | | 16 | Аудиторная активность |
| 2 | Время и порядок событий | 6 | 4 | 2 | 26 | Контроль теоретических знаний<br>Аудиторная активность |
| 3 | Согласованность | 4 | 4 | | 16 | Аудиторная активность |
| 4 | Репликация и кворумы | 4 | 4 | | 16 | Аудиторная активность |
| 5 | Консенсус | 6 | 4 | 2 | 26 | Контроль теоретических знаний<br>Аудиторная активность |
| 6 | Отказоустойчивость | 6 | 4 | 2 | 26 | Проект<br>Аудиторная активность |
| | ***Экзамен*** | | | 4 | | |
| | ***Итого:*** | ***30*** | ***24*** | ***10*** | ***126*** | |
| ***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 | Модели и отказы | Введение в распределённые системы<br>Модели сети и отказов |
| 2 | Время и порядок событий | Физические часы и проблема глобального времени<br>Причинность и порядок событий<br>Глобальное состояние распределённой системы |
| 3 | Согласованность | Модели согласованности<br>Теоремы о согласованности и доступности |
| 4 | Репликация и кворумы | Стратегии репликации данных<br>Кворумные системы |
| 5 | Консенсус | Задача консенсуса: постановка и невозможность<br>Алгоритмы консенсуса на практике<br>Распределённая фиксация транзакций |
| 6 | Отказоустойчивость | Управление составом кластера и обнаружение отказов<br>Подходы без центрального координатора<br>Безопасность при разделении сети и итоговая интеграция |

## 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 |
| **Системы управления базами данных:** | | |
| 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, аудиторная активность, контроль теоретических знаний, проект, 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 удается, 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.

*Аудиторная работа* – активная работа студента на семинаре, его ответы на вопросы преподавателя и участие в дискуссии.

Для успешного участия в семинаре студентам рекомендуется заранее ознакомиться с темой обсуждения, прочитать необходимые материалы и подготовить вопросы. Важно активно слушать и вовлекаться в дискуссию, высказывая свои мнения и аргументируя их. При ответах на вопросы преподавателя стоит быть уверенным, четким и логичным, опираясь на изученный материал. Также полезно поддерживать диалог с однокурсниками, чтобы обогатить обсуждение и расширить свои знания.

*Контроль теоретических знаний* — форма оценки уровня усвоения учебного материала, осуществляемая в виде устного опроса по основным разделам дисциплины (модуля).

В процессе подготовки студенту необходимо проанализировать учебные материалы, ознакомившись с лекциями, учебниками и дополнительными источниками, акцентируя

внимание на ключевых темах. Рекомендуется создать структурированные конспекты, выделяя основные идеи, термины и формулы.

*Проект* – исследовательская работа по дисциплине (модулю) и презентация результатов.

Для успешной подготовки к проекту рекомендуется: четко определить цели и задачи проекта; составить план работы, разбив проект на этапы с указанием сроков выполнения каждого из них; использовать разнообразные источники информации и инструменты для исследования темы; регулярно проверять прогресс и вносить коррективы в план, если это необходимо.

*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 ***зачет с оценкой***, 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. 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 |
| 9 | Отлично | |
| 8 | Отлично | |

| Десятибалльная оценка | Пятибалльная оценка | Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю) |
|---|---|---|
| | | деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты дисциплины (модуля) с практическими задачами. |
| 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 предмету и не может ответить на вопросы, даже если преподаватель задает дополнительные наводящие вопросы. |
| 2 | Не сдан | |
| 1 | Не сдан | |

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

| Активность | Вес | Количество | Описание |
|---|---|---|---|
| Контроль теоретических знаний | 10% | 1 | Устный опрос по основным разделам и (или) темам дисциплины (модуля) |
| Проект | 40% | 2 | Исследовательская работа по дисциплине (модулю) и презентация результатов |
| Аудиторная работа | 10% | 1 | Активная работа студента на занятии |
| Зачет с оценкой | 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»:** «0,1 × контроль теоретических знаний + 0,4 × проект + 0,1 × аудиторная работа + 0,4 × зачет с оценкой».

**Текущий контроль успеваемости обучающихся по дисциплине (модулю)**
**Примерные вопросы для подготовки к занятию**

**Раздел 1. Модели и отказы**

1. Что такое распределённая система? Перечислите основные характеристики и вызовы при её проектировании.
2. Какие модели сети используются при анализе распределённых систем? В чём различие между синхронной, частично синхронной и асинхронной моделями?
3. Какие типы отказов возможны в распределённых системах? Приведите примеры каждого типа (отказ узла, канала, временной, двойной и др.).
4. Почему асинхронная модель считается наиболее реалистичной, но и наиболее сложной для разработки алгоритмов**?**

**Раздел 2. Время и порядок событий**

1. Почему в распределённых системах невозможно создать точное глобальное время? Какие проблемы это вызывает?
2. Что такое логические часы Лампорта? Как они используются для установления причинно-следственных связей между событиями?
3. Объясните, как работает векторное время. Чем оно отличается от логических часов?
4. Что включает в себя понятие «глобальное состояние» распределённой системы? Почему его корректная фиксация — нетривиальная задача?
5. Как алгоритм Чанди–Лампорта позволяет зафиксировать согласованное глобальное состояние?

**Раздел 3. Согласованность**

1. Что такое модель согласованности? Приведите примеры строгих и слабых моделей (например, строгая, последовательная, причинная согласованность).
2. В чём заключается разница между последовательной и линейной согласованностью?
3. Сформулируйте теорему CAP. Какие три свойства она описывает? Почему их нельзя обеспечить одновременно?
4. Что утверждает расширенная теорема PACELC? Как она дополняет CAP в условиях нормальной работы системы?

**Раздел 4. Репликация и кворумы**

1. Какие стратегии репликации данных существуют (однонаправленная, двунаправленная, активная, пассивная)? В чём их преимущества и недостатки?
2. Что такое кворум в контексте репликации? Как выбираются значения W (write quorum) и R (read quorum)?
3. При каком условии ($R + W > N$ ) обеспечивается отсутствие устаревших данных при чтении? Объясните на примере.
4. Как кворумные системы помогают балансировать между доступностью и согласованностью?

**Раздел 5. Консенсус**

1. Сформулируйте задачу консенсуса. Какие три свойства (ограничения) должен удовлетворять любой алгоритм консенсуса?
2. В чём заключается проблема FLP? Почему она важна для теории распределённых систем?
3. Опишите основные идеи алгоритма Paxos. Как он обеспечивает безопасность и прогресс в условиях отказов?

4. Чем отличается Raft от Paxos? Как Raft упрощает понимание и реализацию консенсуса?

5. Как работает двухфазная фиксация (2PC)? Какие у неё недостатки с точки зрения доступности?

**Раздел 6. Отказоустойчивость**

1. Какие механизмы используются для обнаружения отказов в распределённых системах? Что такое мониторинг на основе таймаутов и «сердцебиения»?

2. Как работает протокол Gossip? В каких системах он применяется и почему?

3. Что такое «разделение сети» (network partition)? Как система должна вести себя при его возникновении?

4. Объясните концепцию «безопасности при разделении» и «итоговой интеграции». Какие системы выбирают доступность, а какие — согласованность?

5. Какие подходы позволяют управлять составом кластера без центрального координатора?

**Вопросы для подготовки к контролю теоретических знаний**

— Исследуйте, как строки таблицы хранятся на диске в PostgreSQL (формат страницы, размер, выравнивание).

— Напишите отчёт с примером расчёта занимаемого места для конкретной таблицы.

1. **Построение и анализ индексов**

— Создайте B-дерево и хеш-индекс для одной таблицы.

— Сравните производительность поиска по каждому индексу.

— Объясните, в каких случаях каждый тип эффективен.

2. **Изучение плана выполнения запроса**

— Используя **EXPLAIN (ANALYZE)** в PostgreSQL, проанализируйте план выполнения сложного SQL-запроса.

— Определите узкие места (seq scan, nested loops и т.п.) и предложите оптимизацию.

3. **Транзакции и изоляция**

— Запустите две параллельные транзакции. Продемонстрируйте аномалию (например, "фантомное чтение").

— Повторите с другим уровнем изоляции — объясните разницу.

**Примерное описание задания и критерии оценивания к проекту**

**Описание:**

Создать упрощённую однопоточную СУБД с поддержкой:

— Хранения таблиц в виде файлов.

— Индексов (B-дерево или хеш).

— Парсинга и выполнения базовых SQL-запросов (SELECT, INSERT, WHERE).

— Простого оптимизатора (выбор индекса).

— Журнала транзакций (WAL) и восстановления после сбоя.

**Формат сдачи:**

— Исходный код (на Python, C++ или Java).

— Документация: архитектура, компоненты, примеры использования.

— Демонстрация работы (видео или живой запуск).

**Задания для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

| № п/п | Задание | Ответ | Компетенция |
|---|---|---|---|
| 1 | Укажите модель отказов, при которой узел просто перестаёт отвечать на запросы. | отказ по останову / fail-stop | УК-1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | Укажите модель отказов, при которой узел может отправлять произвольные или искажённые данные. | византийский отказ / byzantine failure | ПК-1 |
| 3 | Назовите механизм упорядочивания событий без использования синхронизированного физического времени. | логические часы / часы Лампорта | УК-1 |
| 4 | Укажите структуру данных для отслеживания причинно-следственных связей между событиями в системе. | векторные часы / vector clocks | УК-2 |
| 5 | Укажите отношение порядка, определяющее причинную зависимость событий в распределённой системе. | happens-before / происходит-до | УК-2 |
| 6 | Назовите теорему, утверждающую невозможность одновременного обеспечения трёх свойств в распределённой системе. | CAP / теорема CAP | ОПК-1 |
| 7 | Укажите модель согласованности, гарантирующую мгновенное применение операций для всех клиентов. | линеаризуемость / linearizability | ПК-2 |
| 8 | Назовите процесс хранения копий данных на нескольких узлах для повышения надёжности. | репликация / replication | ПК-2 |
| 9 | Укажите математическое условие кворума для гарантированного чтения актуальных данных. | R + W > N | УК-1 |
| 10 | Укажите модель согласованности, допускающую временную рассинхронизацию данных между узлами. | итоговая согласованность / eventual consistency | ОПК-1 |
| 11 | Назовите задачу достижения согласия между процессами в условиях возможных отказов. | консенсус / consensus | ОПК-1 |
| 12 | Укажите теорему о невозможности решения задачи консенсуса в полностью асинхронной системе. | FLP / теорема FLP | УК-1 |
| 13 | Назовите практический алгоритм консенсуса, использующий выбор лидера для упрощения логики. | Raft | УК-1 |
| 14 | Укажите семейство протоколов консенсуса, основанных на предложении и принятии значений. | Paxos | ПК-1 |
| 15 | Назовите протокол атомарной фиксации распределённой транзакции с координатором. | 2PC / двухфазная фиксация | УК-1 |
| 16 | Укажите механизм обнаружения неработающих узлов в кластере на основе таймаутов. | детектор отказов / heartbeat | УК-2 |
| 17 | Укажите ситуацию разрыва связи между частями кластера, приводящую к изоляции групп узлов. | разделение сети / network partition | УК-2 |
| 18 | Назовите протокол эпидемического распространения информации для обмена состояниями в кластере. | Gossip protocol / протокол сплетен | ОПК-1 |
| 19 | Укажите алгоритм получения согласованного снимка глобального состояния системы. | Чанди-Лампорт / Chandy-Lamport | ПК-2 |

Электронный документ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 20 | Назовите процесс выбора координатора среди узлов кластера для управления репликацией. | выбор лидера / leader election | ПК-2 |