

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 23.12.2025 13:42:26
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП
«Разработка программно-
информационных систем»



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ»
для подготовки бакалавров
по направлению
09.03.04 «Программная инженерия»
по профилю
«Разработка программно-информационных систем»

Санкт-Петербург

2025

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.т.н. Шошмина И.В.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры МОЭВМ
20.01.2025, протокол № 1

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ФКТИ, 28.01.2025, протокол № 1

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФКТИ
Обеспечивающая кафедра	МОЭВМ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	4
Курс	3
Семестр	6

Виды занятий

Лекции (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	17
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	35
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	109
Всего (академ. часов)	144

Вид промежуточной аттестации

Экзамен (курс)	3
----------------	---

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ»

Рассматриваются основные задачи распределенных систем, взаимодействующих через разделяемую память и с помощью обмена сообщениями: задача взаимно исключающего доступа, обход сети, выбор лидера. Основными объектами при формулировке задач являются математические объекты: помеченные структуры переходов, события, пространственно-временные диаграммы. Основным средством анализа корректности алгоритмов являются темпоральные логики. Используются структуры данных такие как, регистры, очереди, стеки, каналы. Рассматриваются приложения распределенных алгоритмов при решении практических задач.

SUBJECT SUMMARY

«DISTRIBUTED ALGORITHMS»

We consider base tasks of distributed algorithms communicating via shared memory or message-passing environment: mutual excluded task, network search, leader election. Discussion based on mathematical formal objects such as labeled transition systems (Kripke structures), events, space-time diagrams, reaction systems. To analyze correctness of algorithms we use temporal logics. We consider programming structures: registers, queues, stacks, channels. We discuss application of the algorithms in practice.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цель дисциплины -изучение фундаментальных конструкций, алгоритмов, методов, использующихся для разработки корректных конкурирующих и распределенных программ, приобретение знаний, умений и навыков самостоятельно анализировать, оценивать, разрабатывать распределенные алгоритмы.
2. Задачи дисциплины:
 - научиться разбираться в предметной области автоматизации, устройстве и функционировании современных информационных систем,
 - приобретение знаний, умений и навыков разрабатывать техническое задание на систему, выделять подсистемы системы и распределять общие требования по подсистемам.
3. Знания фундаментальных конструкций, алгоритмов, методов, использующихся для разработки корректных конкурирующих и распределенных программ. самостоятельно анализировать, оценивать, разрабатывать распределенные алгоритмы.
4. Умения разбираться в предметной области автоматизации, устройстве и функционировании современных информационных систем, разрабатывать техническое задание на систему, выделять подсистемы системы и распределять общие требования по подсистемам.
5. Навыки самостоятельного анализа, оценки, разработки распределенных алгоритмов.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Информатика»
2. «Программирование»
3. «Информационные технологии»
4. «Алгоритмы и структуры данных»
5. «Объектно-ориентированное программирование»
6. «Операционные системы»
7. «Математическая логика в компьютерных науках»
8. «Параллельные алгоритмы»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Интеллектуальные системы»
2. «Разработка приложений для мобильных платформ»

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ПК-3	Способен овладевать навыками моделирования, анализа и использования формальных методов конструирования программного обеспечения
ПК-3.1	<i>Знает основы моделирования и формальные методы конструирования программного обеспечения</i>
ПК-3.2	<i>Умеет использовать формальные методы конструирования программного обеспечения</i>
ПК-3.3	<i>Владеет методами формализации и моделирования программного обеспечения</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	1			
2	Тема 1. Задача взаимно исключающего доступа. Основные понятия конкурирующих алгоритмов	2	1		6
3	Тема 2. Алгоритмы решения задачи взаимно исключающего доступа	2	1		6
4	Тема 3. Замковые конкурирующие объекты	2	1		6
5	Тема 4. Атомарность: формальное определение и свойства	2	1		6
6	Тема 5. Неблокирующие очереди и стеки	1	1		6
7	Тема 6. Система верификации Spin и язык Promela. Примеры верификации	1	2		6
8	Тема 7. Базовые понятия распределенных алгоритмов. Алгоритмы обхода сети	1	2		6
9	Тема 8. Распределенные графовые алгоритмы	1	2		8
10	Тема 9. Алгоритмы выбора лидера	1	2		8
11	Тема 10. Распределенные алгоритмы взаимно исключающего доступа	1	2		8
12	Тема 11. Определение распределенного завершения	1	2		8
13	Заключение	1		1	35
	Итого, ач	17	17	1	109
	Из них ач на контроль	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе				144/4

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Обзор курса. Цели и задачи.
2	Тема 1. Задача взаимно исключающего доступа. Основные понятия конкурирующих алгоритмов	Гонки, конкурирующие объекты, взаимодействие, свобода от блокировок, живость, замковые объекты, взаимное исключение, безопасность, последовательные процессы, свобода от голодания, синхронизация
3	Тема 2. Алгоритмы решения задачи взаимно исключающего доступа	Атомарные регистры чтения/записи, замковые объекты, взаимное исключение, безопасные регистры чтения/записи, специализированные аппаратные примитивы (test&set, fetch&add, compare&swap)

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
4	Тема 3. Замковые конкурирующие объекты	Мониторы, семафоры, задача потребителей-производителей, задача писателей-читателей
5	Тема 4. Атомарность: формальное определение и свойства	Атомарность, легальные истории, истории, линеаризуемость, последовательная консистентность, сериализуемость, тотальный порядок
6	Тема 5. Неблокирующие очереди и стеки	Условия прогресса операций: свобода от препятствий (obstruction freedom), свобода от ожиданий (wait freedom), неблокирующее сплиттер, неблокирующая очередь, неблокирующий стек
7	Тема 6. Система верификации Spin и язык Promela. Примеры верификации	Основные типы данных и операции в Promela, режимы проверки и симуляции в Spin, редактор формул LTL
8	Тема 7. Базовые понятия распределенных алгоритмов. Алгоритмы обхода сети	Асинхронные/синхронные системы, обход в глубину, обход в ширину, оставное дерево
9	Тема 8. Распределенные графовые алгоритмы	Определение наличия циклов, раскраска графа, максимальное независимое множество, принцип Белмана-Форда
10	Тема 9. Алгоритмы выбора лидера	Разрезы графа, глобальная функция, сложность по сообщениям, времененная сложность, выбор, идентификатор процесса, топология сети
11	Тема 10. Распределенные алгоритмы взаимно исключающего доступа	Адаптивные алгоритмы, свобода от голодания, направленные ациклические графы, свойства живости, свобода от голодания, штемпели времени
12	Тема 11. Определение распределенного завершения	Асинхронные системы, счетчики, вычисления с рассеиванием, глобальное состояние, свойство стабилизации, волны
13	Заключение	Выводы по курсу. Перспективы развития.

4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Задача взаимно исключающего доступа. Основные понятия конкурирующих алгоритмов	2
2. Алгоритмы решения задачи взаимно исключающего доступа	1.5
3. Замковые конкурирующие объекты	1.5
4. Атомарность: формальное определение и свойства	1.5
5. Неблокирующие очереди и стеки	1.5
6. Система верификации Spin и язык Promela. Примеры верификации	1.5

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
7. Базовые понятия распределенных алгоритмов. Алгоритмы обхода сети	1.5
8. Распределенные графовые алгоритмы	1.5
9. Алгоритмы выбора лидера	1.5
10. Распределенные алгоритмы взаимно исключающего доступа	1.5
11. Определение распределенного завершения	1.5
Итого	17

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь

период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	24
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	24
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	26
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференциированному зачету, экзамену	35
ИТОГО СРС	109

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Карпов Ю. MODEL CHECKING. Верификация параллельных и распределенных программных систем [Электронный ресурс] / Ю. Карпов, 2010. - 560 с.	неогр.
2	Таненбаум Э. Современные операционные системы. 4-е изд. [Электронный ресурс] / Э. Таненбаум, Х. Бос, 2019. -1120 с.	неогр.
3	Таненбаум Э. Компьютерные сети. 5-е изд. [Электронный ресурс] / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл, 2014. -960 с.	неогр.
Дополнительная литература		
1	Михалис Цукалос Golang для профи: работа с сетью, многопоточность, структуры данных и машинное обучение с Go [Электронный ресурс] / Цукалос Михалис, 2021. -720 с.	неогр.

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Средство моделирования и верификации SPIN https://spinroot.com/spin/whatispin.html

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=15119>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Распределенные алгоритмы» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

Экзамен

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины. Не допущен к экзамену из-за несоблюдения условий допуска.
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

Особенности допуска

К экзамену допускаются студенты, выполнившие 2 контрольные работы на оценку не ниже "Удовлетворительно", а также выполнившие и защитившие на коллоквиуме 11 практических работ на оценку не ниже "Удовлетворительно". Экзамен проводится в форме тестирования. Совокупность оценок, полученных студентом в результате контрольных мероприятий учитывается преподавателем при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена. При этом оценка по результатам текущего контроля составляет 60% от общей итоговой оценки, экзаменационная -40%.

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Основные типы данных и операции в Promela
2	Формальная семантика языка Promela
3	Принцип верификации в SPIN
4	Метод проверки модели - основные принципы, возможности и ограничения
5	Основные понятия конкурирующих алгоритмов
6	Формализация свойств конкурирующих алгоритмов.
7	Задача взаимно-исключающего доступа - структура, свойства, решение для двух процессов
8	Формальное задание свойств задачи взаимно-исключающего доступа
9	Решение задачи взаимно-исключающего доступа для n процессов с помощью атомарных регистров
10	Линейная темпоральная логика. Формальные синтаксис и семантика.
11	Эквивалентные преобразования в линейной темпоральной логике.
12	Атомарные, безопасные и регулярные регистры. Примеры, демонстрирующие отличия
13	Решение задачи взаимно-исключающего доступа с помощью регулярных регистров.
14	Структура Кripке как модель, описывающая выполнение конкурирующих алгоритмов
15	Построение структуры Кripке по распределенному алгоритму
16	Решение задачи взаимно-исключающего доступа с помощью безопасных регистров
17	Решение задачи взаимно-исключающего доступа с помощью безопасных регистров

18	Алгоритм реализации неблокирующей очереди Майкла и Скотта
19	Алгоритм реализации неблокирующего стека с помощью CAS
20	Основные понятия распределенных алгоритмов
21	Простейший алгоритм получения графа коммуникаций распределенной системы
22	Алгоритмы обхода распределенной системы в ширину
23	Алгоритм обхода распределенной системы в глубину
24	Алгоритмы выбора лидера в кольце
25	Алгоритмы Рикарта-Агравала, решающие задачу распределенного взаимно-исключающего доступа
26	Алгоритм Дейкстры-Шолтена для задачи распределенного завершения
27	Алгоритм с кредитами для задачи распределенного завершения

Вариант экзаменационного теста

Тест с открытыми вариантами ответов. За полностью правильные ответы начисляется максимальное количество баллов, баллы снижаются за ошибки в ответах.

1. Предположим, что количество предателей в алгоритме короля 2 из 5. Приведите сценарий, когда консенсуса достигнуть не удается. (20 баллов)

2. Пусть 10 процессов выполняют ниже приведенный алгоритм. Переменная i служит уникальным идентификатором процесса, назначается до работы алгоритма, соответственно, принимает значения от 1 до 10. Массивы C и D являются глобально разделяемыми. (30 баллов)

integer array[1..10] C := десять разных начальных значений

integer array[1..10] D

p

integer myNumber, count

p1: $myNumber := C[i]$

p2: $count :=$ количество элементов C меньше, чем $myNumber$

p3: $D[count+1] := myNumber$

a) Что делает этот алгоритм?

- б) Что случится, если в строке p2 массив C заменить на массив D?
- в) Что случится, если массив C будет инициализирован неуникальными значениями? Скорректируйте алгоритм для этого случая
3. Рассмотрим алгоритма читателей-писателей с равноправным доступом к критической секции (2 писателя-3 читателя), используя семафоры. Обоснуйте корректность этого алгоритма относительно свойств отсутствия голодания читателей, писателей. (50 баллов)

Критерии оценки экзаменационного теста

60 - 79 баллов - "Удовлетворительно",

80 -89 баллов - "Хорошо",

90 - 100 баллов - "Отлично"

Максимальное количество баллов 100.

Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

Вопросы к коллоквиумам аналогичны экзаменационным вопросам, изученных до момента проведения коллоквиума.

Примерный вариант задания по контрольной работе:

1. Пусть K положительное целое число. Определите все возможные значения переменной n, получающиеся при завершении данного алгоритма.

integer n := 0

Процесс P Процесс Q

integer temp integer temp

p1 do K times q1 do K times

p2 temp:=n q2 temp:=n

p3 n:=temp+1 q3 n:=temp+1

2. Для алгоритма из задания 2 проверьте выполнение сформулированных Вами требований при помощи метода анализа диаграмм состояний, а также проверьте отсутствие взаимных блокировок процессов – т.е. всегда будет так, что если процесс ждет входа в критическую секцию, то какой-нибудь процесс в нее попадет.

3. Пусть имеется N процессов, подобных процессу, описанному ниже. Пусть $k < N$. Что делает этот алгоритм? Найдите сценарий при $N=3$ $k=2$, когда $delay=2$, что противоречит понятию бинарных семафоров.

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Тема 1. Задача взаимно исключающего доступа. Основные понятия конкурирующих алгоритмов	
2		
3	Тема 2. Алгоритмы решения задачи взаимно исключающего доступа	
4		
5	Тема 3. Замковые конкурирующие объекты	
6	Тема 4. Атомарность: формальное определение и свойства	
7	Тема 5. Неблокирующие очереди и стеки	
8	Тема 6. Система верификации Spin и язык Promela. Примеры верификации	Контрольная работа
10	Тема 7. Базовые понятия распределенных алгоритмов. Алгоритмы обхода сети	
11	Тема 8. Распределенные графовые алгоритмы	
12	Тема 9. Алгоритмы выбора лидера	
13	Тема 10. Распределенные алгоритмы взаимно исключающего доступа	
14	Тема 11. Определение распределенного завершения	
15		
16		Контрольная работа
17	Тема 6. Система верификации Spin и язык Promela. Примеры верификации	Коллоквиум

6.4 Методика текущего контроля

на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя:

- контроль посещаемости (не менее 80% занятий);

на практических занятиях

Порядок выполнения практических работ, подготовки отчетов и их защиты.

В процессе обучения студент обязан выполнить 11 практических работ. Под выполнением практических работ подразумевается подготовка к работе, выполнение задания, подготовка отчета и его защита, оценка за которую выставляется по 4-балльной шкале.

Выполнение практических работ студентами осуществляется индивидуально. Оформление отчета студентами осуществляется индивидуально в соот-

ветствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения экспериментальных исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Практические работы защищаются студентами индивидуально. Каждый студент получает вопрос по выполнению задания, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите практической работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных экспериментальных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении работы.

Коллоквиум для защиты практических работ проводится в конце семестра.

Текущий контроль включает проведение 2-х контрольных работ, оценка за которые выставляется по 4-балльной шкале

Оценка за контрольные и практические работы выставляется по следующим критериям:

«отлично» - на заданные вопросы даны исчерпывающие ответы,

«хорошо» - вопросы раскрыты не полностью,

«удовлетворительно» - ответ в принципе правилен, но в формулировках имеются существенные ошибки,

«неудовлетворительно» - отсутствуют ответы на вопросы или содержание ответа не совпадает с поставленным вопросом.

самостоятельной работы студентов.

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных и лабораторных занятиях студентов по методикам, описанным выше.

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, персональный компьютер IBM-совместимый Pentium или выше, проектор, экран, меловая или маркерная доска	1) Linux Альт Образование 10 и выше; 2) Р7-Офис 7 и выше либо LibreOffice 7 и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест, оборудованных компьютерами IBM-совместимыми Pentium или выше – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, меловая или маркерная доска, персональный компьютер IBM совместимый Pentium или выше	1) Linux Альт Образование 10 и выше; 2) Р7-Офис 7 и выше либо LibreOffice 7 и выше
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Linux Альт Образование 10 и выше; 2) Р7-Офис 7 и выше либо LibreOffice 7 и выше

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА