**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Алгоритмы и анализ сложности

Algorithms and Complexity

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 4

Регистрационный номер рабочей программы: 003587

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Дисциплина «Алгоритмы и анализ сложности» является одной из базовых дисциплин цикла (С2), формирующего подготовку специалиста в области прикладной математики и информатики.

Отдельные параметры курса могут варьироваться по степени сложности в зависимости от начальной подготовки обучающихся.

Основным методологическим принципом построения программы курса, является принцип поэтапного системного накопления знаний и формирования необходимых компетенций по модели: от простого и/или знакомого - к сложному и/или незнакомому, а основной методологической стратегией прохождения отдельных разделов программы является ступенчатость и цикличность, предусматривающие постепенный возврат к ранее усвоенному материалу на более высоком языковом и концептуальном уровне.

Цель изучения дисциплины: ознакомление обучающихся с основными понятиями теории алгоритмов, подготовка к восприятию специальных дисциплин, развитие у обучающихся доказательного, логического мышления; подготовка к самостоятельному решению различных прикладных задач.

**1.2. Требования подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)**

Программа курса предназначена обучающимся 2 курса и рассчитана на обучающихся, изучавших алгебру, основы информатики и программирования.

Максимальная эффективность программы будет обеспечена при условии, что обучающийся:

• владеет основами алгебры;

• владеет основами программирования;

**1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование категории (группы) компетенций | Код и наименование компетенции | Планируемые результаты обучения, обеспечивающие формирование компетенции | Код индикатора и индикатор достижения универсальной компетенции |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Общепрофессиональные компетенции | ОПК-1 – способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности | изучение свойств различных вычислительных моделей | ОПК-1.2 Определение качественных характеристик каждого компонента |
| 2 | Общепрофессиональные компетенции | ОПК-2 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства, и использовать их при решении задач профессиональной деятельности | обладание достаточно полным представлением о возможностях применения разделов курса в различных прикладных областях науки и техники | ОПК-2.2 Уметь проводить формализацию и алгоритмизацию поставленных задач |
| 3 | Общепрофессиональные компетенции | ОПК-6 – способен разрабатывать алгоритмы и программы, пригодные для практического использования, применять основы информатики и программирования к проектированию, конструированию и тестированию программных продуктов | развитие способности дальнейшего освоения качественных методов теории алгоритмов и информатики | ОПК-6.2 Уметь определять перечень возможных шаблонов (стилей) проектирования для каждого слоя или компонента |
| 4 | Профессиональные компетенции | ПКА-1 – способен использовать в педагогической деятельности научные основы образования в сфере ИКТ | знание содержания дисциплины "Алгоритмы и анализ сложности" | ПКА-1.1 Быть способным осуществлять организационное и технологическое обеспечение кодирования на языках программирования |
| 5 | Профессиональные компетенции | ПКП-1 – способен проектировать программные системы | обладание достаточно полным представлением о возможностях применения разделов курса в различных прикладных областях науки и техники | ПКП-1.1 Уметь разрабатывать технические спецификации на программные компоненты и их взаимодействие |
| 6 | Профессиональные компетенции | ПКП-2 – способен использовать основные модели информационных технологий и способы их применения для решения задач в предметных областях | построение вычислительных моделей с заданными свойствами | ПКП-2.1 Уметь описывать алгоритмы компонентов, включая методы и схемы |

**1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий**

Аудиторная учебная работа: лекционные занятия в объеме 2 часов в неделю, практические занятия в объёме 2 часов в неделю.

**Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий**

**2.1. Организация учебных занятий**

**2.1.1 Основной курс**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины,  практики и т.п. | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | | | | | | | | | Самостоятельная работа | | | | Объём активных и интерактивных  форм учебных занятий | Трудоёмкость |
| лекции | семинары | консультации | практические  занятия | лабораторные работы | контрольные работы | коллоквиумы | текущий контроль | промежуточная  аттестация | итоговая аттестация | под руководством преподавателя | в присутствии  преподавателя | сам. раб. с использованием  методических материалов | текущий контроль (сам.раб.) | промежуточная аттестация (сам.раб.) | итоговая аттестация  (сам.раб.) |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Семестр 3 | 32 |  | 2 | 32 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 40 |  | 36 |  | 10 | 4 |
|  | 2-42 |  | 2-25 | 2-25 |  |  |  |  | 2-25 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 32 |  | 2 | 32 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 40 |  | 36 |  |  | 4 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п. | Формы текущего контроля успеваемости | | Виды промежуточной аттестации | | Виды итоговой аттестации  (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ) | |
| Формы | Сроки | Виды | Сроки | Виды | Сроки |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | |
| Семестр 3 |  |  | экзамен, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |

**2.2. Структура и содержание учебных занятий**

**Основной курс Основая траектория Очная форма обучения**

Период обучения (модуль): Семестр 3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование темы (раздела, части) | Вид учебных занятий | Количество часов |
| М1 | Введение в теорию алгоритмов | Лекции | 32 |
| Практические занятия | 32 |

М1 Введение в теорию алгоритмов:

1. Базовые функции. Операторы суперпозиции, примитивной рекурсии, минимизации и слабой минимизации. Примитивно-рекурсивные, частично-рекурсивные, общерекур­сивные функции. Примитивная рекурсивность некоторых распространенных арифметиче­ских функций.
2. Суммирование, взятие произведения и мажорированное обращение примитивно-рекурсивных функций.
3. (Примитивно)-рекурсивные нумерации пар и n-ок натуральных чисел. Вычислимые отображения между n-ками.
4. Характеристические функции множеств. Примитивно-рекурсивные, рекурсивные, частично-рекурсивные и рекурсивно-перечислимые множества. Сохранение некоторых из этих свойств при некоторых теоретико-множественных операциях. Теорема Поста.
5. Образ и прообраз рекурсивно-перечислимого множества при частично-рекурсивном отображении. График частично-рекурсивной функции.
6. Универсальные функции и нумерации. Главные универсальные функции и нумерации. Несуществование универсальной примитивно-рекурсивной функции для класса всех примитивно-рекурсивных функций. Построение частично-рекурсивной функции, универсальной для семейства всех частично-рекурсивных функций. Рекурсивно-перечислимые нерекурсивные множества.
7. Существование частично-рекурсивных функций, не имеющих общерекурсивного доопределения. Рекурсивная неотделимость. Теорема Райса.
8. Рекурсия второго порядка. Функция Аккермана.
9. Параметрическое представление частично-рекурсивных функций. Следствия.
10. Теорема Клини о нормальной форме. Совпадение класса общерекурсивных функций с классом функций, полученных операторами суперпозиции, примитивной рекурсии и слабой минимизации.
11. Необходимые и достаточные условия рекурсивной перечислимости множества всех главных номеров семейства частично-рекурсивных функций.
12. Машины Тьюринга. Эквивалентность класса всех частично-рекурсивных функций и класса функций, вычислимых на машинах Тьюринга. Тезис Тьюринга-Черча.
13. Кодирование машин Тьюринга в собственном алфавите. Универсальная машина Тьюринга. Пошаговое исполнение машин Тьюринга.
14. Основные проблемы для машин Тьюринга: самоприменимость, остановка, тотальность, пустота, эквивалентность. Неразрешимость или (не более чем) частичная разрешимость этих проблем. Примеры частично-рекурсивных нерекурсивных множеств в терминах машин Тьюринга.
15. Язык лямбда-исчисления. Лямбда-термы, свободные и связанные переменные и их вхождения, альфа-конверсия, бета-редукция. Комбинаторы.
16. Бета-нормальная форма, стратегии редукции. Кодирование пар и n-ок в чистом лямбда-исчислении. Кодирование булевских значений и условной конструкции.
17. Комбинатор неподвижной точки. Кодирование рекурсивных вычислений в чистом лямбда-исчислении.
18. Лямбда-определимость. Нумералы Черча. Лямбда-определимость частично-рекурсивных функций.
19. Теорема Черча-Россера.

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Для освоения дисциплины обучающиеся должны посещать лекционные и практические занятия. На них преподаватель рассказывает материал курса согласно содержанию в разбивке по разделам по п.2.2.

При подготовке к лекциям необходимо учитывать, что изложение материала должно быть от простого к сложному, от известного к неизвестному. Рекомендуется применять активные формы проведения занятий: проблемное изложение, дискуссии, диалог с целью активизации деятельности обучающихся. При проведении занятий необходимо использовать презентации.

При изложении материала важно помнить, что почти половина информации на семинаре передается через интонацию. Учитывать тот факт, что первый кризис внимания обучающихся наступает на 15-20-й минутах, второй – на 30-35-й минутах.

На практических занятиях преподаватель решает с обучающимися задачи, закрепляющие соответствующий материал курса.

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

При самостоятельном изучении теоретического материала целесообразно использовать рекомендованную основную и дополнительную литературу. По согласованию с преподавателем обучающийся может осваивать теоретическую часть курса по одному из онлайн-курсов, представленных на образовательных платформах в п. 3.4.3. При этом преподаватель обязан сообщить обучающимся, какие разделы выбранного им онлайн-курса недостаточно полно раскрывают ту или иную тему курса и порекомендовать дополнительные источники по данной теме. Преподаватель вправе отказать обучающемуся в самостоятельном освоении теоретической части дисциплины по онлайн-курсу в случае нахождения в нем существенных расхождений с содержанием курса в разделе 2 и п. 3.1.1.

**3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания**

Экзамен проводится в устной форме по билетам. Список экзаменационных вопросов предоставляется обучающимся не позднее, чем за две недели до экзамена. Пример списка содержится в разделе 3.1.4.

Использование конспектов и учебников, а также электронных устройств хранения, обработки или передачи информации при подготовке и ответе на вопросы экзамена запрещено.

Билет содержит два теоретических вопроса. На подготовку отводится не менее 1 академического часа. По окончании подготовки к ответу обучающийся устно излагает содержание экзаменационного вопроса экзаменатору. После ответа на вопрос билета, преподаватель вправе задать уточняющие вопросы по услышанному. Затем преподаватель задает дополнительные вопросы по любой теме из списка вопросов, вынесенных на экзамен. В качестве уточняющих используются вопросы, не требующие длительного ответа, в том числе основные определения и понятия. Дополнительные вопросы должны строиться таким образом, чтобы с их помощью обучающийся мог продемонстрировать своё понимание или непонимание материала, а также способности к аргументированному обсуждению. Рекомендуется задавать 3-4 дополнительных вопроса на билет и не более 2-3 уточняющих вопросов. Преподаватель вправе увеличить количество вопросов в случае, если у него не возникает понимание, освоил обучающийся материал учебного курса или нет.

В любой момент обучающийся имеет право отказаться от ответа с выставлением оценки в 0 баллов.

За экзамен обучающийся может получить максимум 40 баллов. Ответ на каждый вопрос экзаменационного билета вместе с ответами на уточняющие вопросы по нему оценивается по шкале от 0 баллов (нет ответа) до 10 баллов (экзаменуемым даны полные исчерпывающие ответы по всем вопросам билета, обучающийся свободно ориентируется в материале), таким образом, за вопросы билета обучающийся может получить до 30 баллов. Оставшийся бюджет из 20 баллов делится поровну по дополнительным вопросам. Преподаватель вправе снижать баллы за неточности и ошибки в зависимости от их грубости.

По желанию преподавателя на экзамен допустимо приглашать других преподавателей с квалификацией не ниже изложенной в п. 3.2.1 как для независимого оценивания ответов обучающихся, так и для коллегиального. В последнем случае оценка за экзамен ставится на основании голосования простого большинства. В спорных ситуациях преподаватель, ведущий дисциплину, имеет право принятия окончательного решения.

Перевод из баллов, полученных за экзамен, в итоговый процент освоения курса делается по формуле

где I – итоговый процент освоения курса, n – заработанное обучающимся число баллов. Перевод в оценки делается по стандартной методике согласно приказу №7293/1 от 20.07.2018:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Итоговый процент освоения курса, % | Оценка СПбГУ при проведении экзамена | Оценка ECTS |
| 0-49 | Неудовлетворительно | F |
| 50-60 | Удовлетворительно | E |
| 61-69 | Удовлетворительно | D |
| 70-79 | Хорошо | C |
| 80-89 | Хорошо | B |
| 90-100 | Отлично | A |

**3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)**

В качестве примера вопросов на экзамен по дисциплине допустимо использовать основные вопросы, которые обсуждались на лекциях в разбивке в п. 2.2:

1. Базовые функции. Операторы суперпозиции, примитивной рекурсии, минимизации и слабой минимизации. Примитивно-рекурсивные, частично-рекурсивные, общерекур­сивные функции. Примитивная рекурсивность некоторых распространенных арифметиче­ских функций.
2. Суммирование, взятие произведения и мажорированное обращение примитивно-рекурсивных функций.
3. (Примитивно)-рекурсивные нумерации пар и n-ок натуральных чисел. Вычислимые отображения между n-ками.
4. Характеристические функции множеств. Примитивно-рекурсивные, рекурсивные, частично-рекурсивные и рекурсивно-перечислимые множества. Сохранение некоторых из этих свойств при некоторых теоретико-множественных операциях. Теорема Поста.
5. Образ и прообраз рекурсивно-перечислимого множества при частично-рекурсивном отображении. График частично-рекурсивной функции.
6. Универсальные функции и нумерации. Главные универсальные функции и нумерации. Несуществование универсальной примитивно-рекурсивной функции для класса всех примитивно-рекурсивных функций. Построение частично-рекурсивной функции, универсальной для семейства всех частично-рекурсивных функций. Рекурсивно-перечислимые нерекурсивные множества.
7. Существование частично-рекурсивных функций, не имеющих общерекурсивного доопределения. Рекурсивная неотделимость. Теорема Райса.
8. Рекурсия второго порядка. Функция Аккермана.
9. Параметрическое представление частично-рекурсивных функций. Следствия.
10. Теорема Клини о нормальной форме. Совпадение класса общерекурсивных функций с классом функций, полученных операторами суперпозиции, примитивной рекурсии и слабой минимизации.
11. Необходимые и достаточные условия рекурсивной перечислимости множества всех главных номеров семейства частично-рекурсивных функций.
12. Машины Тьюринга. Эквивалентность класса всех частично-рекурсивных функций и класса функций, вычислимых на машинах Тьюринга. Тезис Тьюринга-Черча.
13. Кодирование машин Тьюринга в собственном алфавите. Универсальная машина Тьюринга. Пошаговое исполнение машин Тьюринга.
14. Основные проблемы для машин Тьюринга: самоприменимость, остановка, тотальность, пустота, эквивалентность. Неразрешимость или (не более чем) частичная разрешимость этих проблем. Примеры частично-рекурсивных нерекурсивных множеств в терминах машин Тьюринга.
15. Язык лямбда-исчисления. Лямбда-термы, свободные и связанные переменные и их вхождения, альфа-конверсия, бета-редукция. Комбинаторы.
16. Бета-нормальная форма, стратегии редукции. Кодирование пар и n-ок в чистом лямбда-исчислении. Кодирование булевских значений и условной конструкции.
17. Комбинатор неподвижной точки. Кодирование рекурсивных вычислений в чистом лямбда-исчислении.
18. Лямбда-определимость. Нумералы Черча. Лямбда-определимость частично-рекурсивных функций.
19. Теорема Черча-Россера.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Код индикатора и индикатор достижения универсальной компетенции | Контрольно-измерительные материалы (КИМ) (тестовые вопросы, контрольные задания, кейсы и пр.) |
|  | 1 | 2 |
| 1 | ОПК-1.2 Определение качественных характеристик каждого компонента | Каждый ответ на вопросы билета и каждый ответ на дополнительный вопрос оцениваются по шкале от 0 (нет ответа) до 10 (очень хорошо), затем баллы усредняются. Результат переводится в диапазон от 0 до 100 |
| 2 | ОПК-2.2 Уметь проводить формализацию и алгоритмизацию поставленных задач | Обучающемуся предлагается создать симулятор машины Тьюринга или её вариации. Результат оценивается по шкале от 0 (не сделано) до 100 (очень хорошо) |
| 3 | ОПК-6.2 Уметь определять перечень возможных шаблонов (стилей) проектирования для каждого слоя или компонента | Обучающемуся предлагается создать симулятор машины Тьюринга или её вариации. Результат оценивается по шкале от 0 (не сделано) до 100 (очень хорошо) |
| 4 | ПКА-1.1 Быть способным осуществлять организационное и технологическое обеспечение кодирования на языках программирования | Обучающемуся предлагается рассказать, что бы он выделил в качестве наиболее важного при подготовке лекции по какому-либо вопросу из билета, или подготовить доклад на одну из второстепенных тем курса. Результат оценивается по шкале от 0 (нет ответа) до 100 (очень хорошо) |
| 5 | ПКП-1.1 Уметь разрабатывать технические спецификации на программные компоненты и их взаимодействие | Обучающемуся предлагается создать симулятор машины Тьюринга или её вариации. Результат оценивается по шкале от 0 (не сделано) до 100 (очень хорошо) |
| 6 | ПКП-2.1 Уметь описывать алгоритмы компонентов, включая методы и схемы | Каждый ответ на вопросы билета и каждый ответ на дополнительный вопрос оцениваются по шкале от 0 (нет ответа) до 10 (очень хорошо), затем баллы усредняются. Результат переводится в диапазон от 0 до 100 |

**3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса**

Для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса применяется анкетирование в соответствии с методикой и графиком, утвержденными в установленном порядке.

**3.2. Кадровое обеспечение**

**3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий**

К преподаванию дисциплины могут быть допущены преподаватели, имеющие диплом о высшем техническом образовании по направлениям «Программная инженерия», «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем» и другим смежным направлениям, связанным с информационными технологиями.

**3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом**

Специальных требований нет.

**3.3. Материально-техническое обеспечение**

**3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные стандартным оборудованием, используемым для обучения в СПбГУ в соответствии с требованиями материально-технического обеспечения.

**3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования**

Стандартное оборудование, используемое для обучения в СПбГУ. MS Windows, MS Office, Mozilla FireFox, Google Chrome, Acrobat Reader DC, WinZip, Антивирус Касперского.

**3.3.3 Характеристики специализированного оборудования**

Специализированное оборудование не требуется.

**3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Специализированное программное обеспечение не требуется.

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

Для аудиторий с маркерными досками необходимы стирающиеся маркеры в объеме, достаточном для проведения курса. Для аудиторий с меловыми досками необходим мел в объеме, достаточном для проведения курса.

**3.4. Список литературы**

1. Успенский В.А. Вводный курс математической логики: учебное пособие / В. А. Успенский, Н. К. Верещагин, В. Е. Плиско. - М.: Физматлит, 2007. - 125 с.

ЭБС «Лань» по подписке СПбГУ: <https://proxy.library.spbu.ru:2385/book/2355>

2. Верещагин Н.К. и др. Колмогоровская сложность и алгоритмическая случайность. – М.: МЦНМО (Московский центр непрерывного математического образования), 2013. - 575 с. ЭБС «Лань» по подписке СПбГУ: <https://proxy.library.spbu.ru:2385/book/56395>

**3.4.2 Перечень иных информационных источников**

Сайт Научной библиотеки им. М. Горького СПбГУ: <http://www.library.spbu.ru/>

Электронный каталог Научной библиотеки им. М. Горького СПбГУ: <http://www.library.spbu.ru/cgi-bin/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS>

Перечень электронных ресурсов, находящихся в доступе СПбГУ: <http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/>

Перечень ЭБС, на платформах которых представлены российские учебники, находящиеся в доступе СПбГУ: <http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/browse?name=rures&resource%20type=8>

**Раздел 4. Разработчики программы**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ФИО | Ученая  степень | Ученое звание | Должность | Контакты |
| Булычев Дмитрий Юрьевич | к.-ф.-м.-н. | доцент | Доцент кафедры системного программирования | d.bylychev@spbu.ru |
| Сартасов  Станислав Юрьевич |  |  | ст. преподаватель кафедры системного программирования | s.sartasov@spbu.ru |