**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Теория автоматов и формальных языков

Formal Languages and Automata Theory

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоёмкость (границы трудоёмкости) в зачетных единицах: 3

Регистрационный номер рабочей программы: 003652

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Целью курса является ознакомления обучающихся с математическими моделями формальных языков: конечными автоматами и контекстно-свободными грамматиками.

Задачами курса являются изучение и освоение обучающимися практических навыков использования конечных автоматов для распознавания языков и грамматик для порождения цепочек языков.

Знания и умения, полученные в результате изучения данной дисциплины, используются обучающимися при освоении других естественнонаучных дисциплин, а также при подготовке курсовых и выпускной квалификационной работ.

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

Освоение дисциплин: основы программирования, дискретная математика.

**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. | Знать детерминированные, недетерминированные (включая с ε-переходами) конечные автоматы; алгоритмы построения детерминированных конечных автоматов, допускающих языки недетерминированных; регулярные выражения и алгоритмы построения конечных автоматов, допускающих язык регулярного выражения, и регулярных выражений, задающих язык конечного автомата; алгоритм минимизации конечного автомата; типы грамматик Хомского и контекстно-свободные грамматики; недетерминированные конечные автоматы с магазином;  Уметь синтезировать конечные автоматы и регулярные выражения для автоматных языков; строить автоматы с магазинной памятью для распознавания предложений контекстно-свободных грамматик;  Владеть алгоритмами преобразований и минимизации конечных автоматов; методами построения распознающих автоматов для контекстно-свободной грамматики. | ОПК-1.1 Уметь идентифицировать возможные проблемы и пути их решения |

**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 объеме 2 часов в неделю.

Самостоятельная работа:

* В присутствии преподавателя (работа обучающийегося при выполнении практических заданий);
* Без участия преподавателя (индивидуальная работа с доступными информационными и образовательными ресурсами, имеющимися в библиотеке, в открытом доступе в сети Интернет и локальной сети Университета с целью преодоления индивидуальных трудностей в освоении отдельных разделов курса).

**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 5 | 32 |  | 2 | 32 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 30 |  | 10 |  | 20 | 3 |
|  | 2-42 |  | 2-25 | 2-25 |  |  |  |  | 2-25 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 32 |  | 2 | 32 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 30 |  | 10 |  | 20 | 3 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 5 |  |  | 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 5

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование темы (раздела, части) | Вид учебных занятий | Количество часов |
| I. | Введение | Лекции | 2 |
| II. | Теория конечных автоматов и регулярных выражений | Лекции | 8 |
| Практические занятия | 8 |
| III. | Лемма о накачке и минимизация ДКА | Лекции | 8 |
| Практические занятия | 8 |
| IV. | Теория контекстно-свободных грамматик | Лекции | 8 |
| Практические занятия | 8 |
| V. | Конечный автомат с магазинной памятью | Лекции | 6 |
| Практические занятия | 8 |
| VI. | Промежуточная аттестация | Консультация | 2 |
| Промежуточная аттестация (экзамен) | 2 |

Содержание учебных занятий

**I. Введение**. Цели и задачи курса. Пример построения конечного автомата для моделирования поведения «умного родителя». Определение грамматик Хомского и их классификация.

**II. Теория конечных автоматов и регулярных выражений**. Что такое конечный автомат, область применения. Формальное определение ДКА. Расширенная функция переходов, язык ДКА Неформальное определение НКА. Формальное определение НКА. Расширенная функция переходов, язык НКА. Эквивалентность ДКА и НКА. НКА с ε- переходами. Устранение ε-переходов. Операции над регулярными выражениями (РВ). Приоритет операций над РВ. От ДКА к РВ. ДКА в РВ методом исключения состояний. РВ в ε-НКА. Алгебраические законы для РВ.

**III. Лемма о накачке и минимизация ДКА**. Лемма о накачке. Свойства замкнутости РВ. Проверка эквивалентности состояний ДКА. Алгоритм заполнения таблицы. Проверка эквивалентности регулярных языков. Минимизация ДКА. Алгоритм минимизации.

**IV. Теория контекстно-свободных грамматик**. Контекстно-свободные (КС) грамматики: язык палиндромов, определение КС грамматики, порождения с использованием грамматики. Язык, задаваемый грамматикой. Выводимые цепочки. Деревья разбора. От выводов к деревьям разбора. От деревьев к порождениям. От порождений к рекурсивным выводам. Неоднозначные грамматики и языки, устранение неоднозначности из грамматик, необходимое и достаточное условие существования двух разных деревьев разбора для цепочки.

**V. Конечный автомат с магазинной памятью**. Определение МП-автомата. Допустимость языка МП-автоматом по заключительному состоянию и пустому стеку. Теоремы об эквивалентности МП-автоматов, допускающих цепочки по пустому стеку и заключительному состоянию. Теоремы об эквивалентности МП-автоматов и КС-грамматик. Нормальная форма Хомского. Лемма о накачке для КС языков.

Практические занятия

**Практические занятия: теория конечных автоматов и регулярных выражений**

Построение ДКА как модели процессов. Расширенная функция переходов ДКА. Расширенная функция переходов НКА. Конструкции подмножеств, ленивый алгоритм преобразования НКА в ДКА. НКА с ε-переходами: ε-замыкание, расширенная функция переходов. Устранение ε-переходов (преобразование в ДКА). Операции над регулярными выражениями (РВ). Построение РВ. От ДКА к РВ. ДКА в РВ методом исключения состояний.

**Практические занятия: лемма о накачке и минимизация ДКА**

Доказательство нерегулярности языка с помощью леммы о накачке. Алгоритм заполнения таблицы эквивалентных состояний. Минимизация ДКА.

**Практические занятия: теория контекстно-свободных грамматик**

Построение грамматик для языков. Рекурсивный вывод и порождение цепочек в контекстно-свободной грамматике. Построение деревьев разбора. Устранение неоднозначности в грамматиках.

**Практические занятия: конечный автомат с магазинной памятью**

Мгновенное описание состояния МП-автомата. Алгоритм работы МП-автомата. Построение МП-автоматов, допускающих цепочки языка по заключительному состоянию и пустому стеку.

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Методические рекомендации преподавателю

На лекционных занятиях преподаватель рассказывает материал курса согласно содержанию в разбивке по разделам, как изложено в п.2.2

При подготовке к лекциям необходимо учитывать, что изложение материала должно быть от простого к сложному, от известного к неизвестному. Рекомендуется по возможности 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 лекции передается через интонацию. Учитывать тот факт, что первый кризис внимания обучающихся наступает на 15-20-й минутах, второй – на 30-35-й минутах.

При проведении аттестации обучающихся важно всегда помнить, что систематичность, объективность, аргументированность – главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний обучающихся. Проверка, контроль и оценка знаний обучающегося, требуют учета его индивидуального стиля в осуществлении учебной деятельности. Знание критериев оценки знаний обязательно для преподавателя и обучающегося.

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя изучение лекционного материала, учебников, учебных пособий и иных материалов и выполнение двух программных проектов: разработка и реализация КА поиска подстрок по заданному РВ и построение МП-автомата для распознавания цепочек контекстно-свободной грамматики. Время и место самостоятельной работы (аудитории университета, библиотеки) выбираются обучающимися по своему усмотрению с учетом рекомендаций преподавателя.

Самостоятельную работу над дисциплиной следует начинать с повторения пройденного материала по соответствующей теме. Необходимо также вспомнить рекомендации преподавателя, данные в ходе лекционных занятий или консультаций, затем приступать к изучению отдельных разделов и тем. Получив представление об основном содержании раздела, темы, необходимо изучить материал с помощью учебника. Целесообразно составить краткий конспект или схему, отображающую смысл и связи основных понятий данного раздела, включенных в него тем, а затем, полезно изучить выдержки из литературы. При необходимости поискать ответы в глобальной сети Интернет на специализированных сайтах, посвященных изучаемому вопросу. Обязательно следует записывать возникшие вопросы, на которые не найдено самостоятельно решений. Изучение дисциплины заканчивается экзаменом. При непосредственной подготовке к экзамену рекомендуется тщательно изучить формулировку каждого вопроса, понять его сущность. В соответствии со смыслом составить план ответа. План ответа желательно развернуть, приложив к нему ссылки на конкретные источники. Отметить пробелы в знаниях, которые следует ликвидировать в ходе консультации.

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

Текущий контроль осуществляется в форме контрольных работ и защит двух программных проектов (см. раздел 3.1.4). Преподаватель оценивает предоставленные обучающимся материалы по шкале от 0 (задача не решена, проект не предоставлен) до 10 (полное решение).

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.

Билет содержит один теоретический вопрос и одну, две или три задачи в зависимости от оценок по двум контрольным):

* 16-20 – 1 задача
* 11-15 – 2 задачи
* 0-10 – 3 задачи

По окончании подготовки к ответу обучающийся устно излагает содержание экзаменационного вопроса экзаменатору, отвечает на вопросы экзаменатора и показывает решение задач. После устного ответа по вопросам экзаменационного билета экзаменатор вправе задать обучающемуся любые вопросы из списка экзаменационных вопросов (дополнительные вопросы).

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

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 случае, если обучающийся не защитил два программных проекта в течение семестра или на экзамене, он автоматически получает за экзамен 0 баллов. В любой момент обучающийся имеет право отказаться от ответа с выставлением оценки в 0 баллов.

За экзамен обучающийся может получить максимум 60 баллов. Ответ на вопрос экзаменационного билета вместе с ответами на уточняющие вопросы по нему оценивается по шкале от 0 баллов (нет ответа) до 15 баллов (экзаменуемым даны полные исчерпывающие ответы по всем вопросам билета, обучающийся свободно ориентируется в материале). Бюджет из 15 баллов делится поровну по дополнительным вопросам. Оставшийся бюджет из 30 баллов делится между всеми задачами билета. 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 в течение семестра и 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:

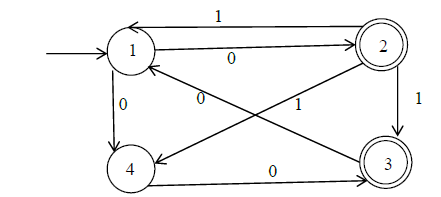
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Итоговый процент освоения курса, % | Оценка СПбГУ при проведении экзамена | Оценка ECTS |
| 0-49 | Неудовлетворительно | F |
| 50-60 | Удовлетворительно | E |
| 61-69 | Удовлетворительно | D |
| 70-79 | Хорошо | C |
| 80-89 | Хорошо | B |
| 90-100 | Отлично | A |

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

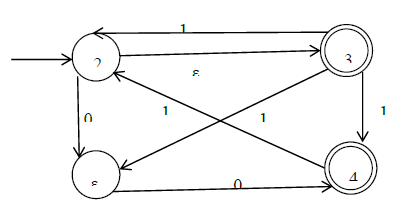
**Примеры контрольных работ**

Контрольная работа №1

1. Построить для НКА эквивалентный ДКА и задать его с помощью графа и таблицы переходов



2. Построить для ε-НКА эквивалентный ДКА и задать его с помощью графа и таблицы переходов



Контрольная работа №2

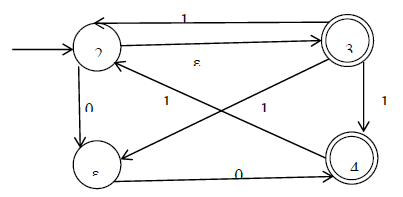
1. Написать РВ, определяющее язык над алфавитом V={a,b,c}, состоящий из цепочек, в

которых между символами a и b расположено не менее пяти символов c. Построить

ДКА, допускающий тот же самый язык.

2. Написать РВ для языка, допускаемого следующим ДКА методом исключения

состояний или построением



3. Минимизировать конечный автомат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Состояния | Символы входного алфавита | |
| x1 | x2 |
| ->q0 | q4 | q3 |
| q1 | q3 | q2 |
| q2 | q2 | q1 |
| q3 | q1 | q2 |
| \*q4 | q0 | q3 |

**Примеры программных проектов**

Проект №1

1. Разработать распознающий КА для цепочек заданного регулярного языка и использовать его в программе поиска цепочек этого языка во входной последовательности символов.

2. Построить таблицу переходов распознающего КА цепочек, начинающиеся с префикса 01 и заканчивающиеся суффиксом 10, между которыми располагается четное число единиц.

Проект №2

1. Задать порождающую грамматику языка {0n(12n)02m | n, m ≥ 0} и построить по ней распознающий МП НКА.

Разработать программу, распознающую цепочки этого языка на основе программной реализации МП НКА.

Программа должна выводить: входную цепочку, принадлежит ли она языку, а если нет, то указать первое несоответствие входной цепочки заданному языку. Реализация осуществляется на любом языке программирования.

В отчете следует представить: грамматику, формальное задание МП НКА, код программы и результаты тестирования в виде таблицы, показывающей входную цепочку, результат проверки и первое несоответствие языку (не менее 20 вариантов

тестирования, включая правильные и неправильные входные цепочки).

**Примерный перечень вопросов к экзамену:**

1. Определение формальной грамматики и языка.

2. Определение ДКА, расширенной функция переходов и языка ДКА с примерами.

3. Определение НКА, расширенной функция переходов и языка НКА с примерами.

4. Конструкция подмножеств, ленивый алгоритм преобразования НКА в ДКА.

5. Теорема о допустимости языка некоторым ДКА.

6. Определение КА с ε-переходами, ε-замыкания, расширенной функции переходов и языка КА с ε-переходами.

7. Устранение ε-переходов, теорема о допустимости языка некоторым ε-НКА.

8. Определение регулярных выражений (РВ), приоритеты операций над регулярными

выражениями.

9. Теорема о существовании РВ для некоторого ДКА.

10. Преобразование ДКА в РВ методом исключения состояний.

11. Преобразование РВ в КА.

12. Алгебраические законы для РВ.

13. Лемма о накачке для регулярных языков.

14. Понятие эквивалентных состояний, алгоритм заполнения таблицы, теорема об эквивалентности состояний.

15. Идея минимизации ДКА, теорема о транзитивности отношения эквивалентности состояний, теорема о разбиении множества состояний, алгоритм минимизации ДКА.

16. Определение КС-грамматик, понятие рекурсивного вывода и порождения, левые и правые порождения.

17. Определение языка, задаваемого грамматикой, выводимые цепочки.

18. Построение дерева разбора, теорема о существовании дерева разбора в случае существования рекурсивного вывода для терминальной цепочки языка переменной А.

19. Теорема о существовании левого порождения в грамматике G, если существует дерево разбора с корнем А и кроной w.

20. Теорема о порождении и рекурсивном выводе.

21. Неоднозначные грамматики и языки, устранение неоднозначности из грамматик, необходимое и достаточное условие существования двух разных деревьев разбора для цепочки.

22. Определение МП-автомата, его графическое представление, конфигурации МП- автомата.

23. Теорема о допустимости вычислений при дописывании одной и той же цепочки к концам входных цепочек всех конфигураций и одних и тех же магазинных символов внизу магазина каждой конфигурации.

24. Допустимость по заключительному состоянию и пустому стеку. Теоремы об эквивалентности МП-автоматов, допускающих цепочки по пустому стеку и заключительному состоянию.

25. Теоремы об эквивалентности МП-автоматов и КС-грамматик.

26. Понятие бесполезных, порождающих и достижимых символов КС грамматики и связанные с ними алгоритмы и теоремы.

27. Теоремы об ε-порождающих символах и удалении ε-продукций КС грамматики.

28. Удаление цепных продукций.

29. Нормальная форма Хомского.

30. Лемма о накачке для КС языков.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Код индикатора и индикатор достижения универсальной компетенции | Контрольно-измерительные материалы (КИМ) (тестовые вопросы, контрольные задания, кейсы и пр.) |
|  | 1 | 2 |
| 1 | ОПК-1.1 Уметь идентифицировать возможные проблемы и пути их решения | практические задания, ответы на вопросы экзамена и ответы на дополнительные вопросы независимо оцениваются по шкале от 0 (нет ответа/не сделано) 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. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список литературы**

1. Chomsky N. Three models for the description of language // IRE Trans. Inform. Theory. 1956. Vol.2, №3. P.113–124. **ЭР по подписке СПбГУ:**

<https://proxy.library.spbu.ru:2281/stamp/stamp.jsp?arnumber=1056813>

**3.4.2 Иные информационные источники**

• 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 |
| Матросов Александр  Васильевич | Д.ф.-м.н. | доцент | профессор | a.matrosov@spbu.ru |
| Сартасов  Станислав Юрьевич |  |  | ст. преподаватель кафедры системного программирования | s.sartasov@spbu.ru |